ELEKTRIE 1|86

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399

NS 400 – eine neue Reihe Ultraviolettstrahler aus dem Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"

Bilder aus dem Beitrag von *Amlong, U.-I.; Fischer, M.; Heller, I.* auf den Seiten 5–7 dieses Heftes

Bild 3. Betriebsschaltung für den Normalbetrieb
a) mit Starterzündgerät HQZ 400
b) mit elektronischem Zündgerät ThZ 175 · · · 400

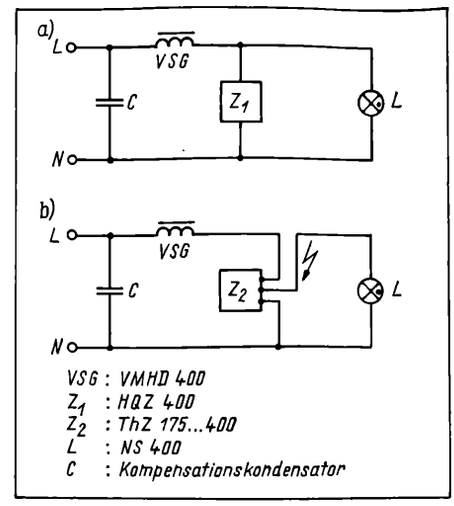


Bild 1. Ansicht eines Strahlers NS 400-75

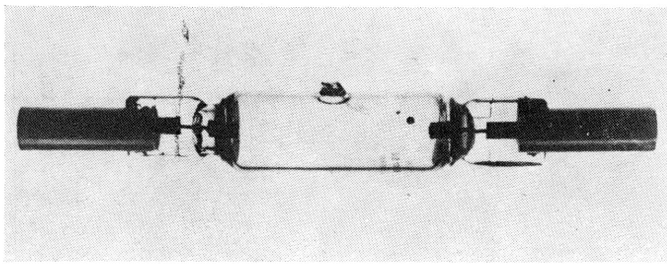


Bild 2. Abmessungen der Strahler der Typenreihe NS 400

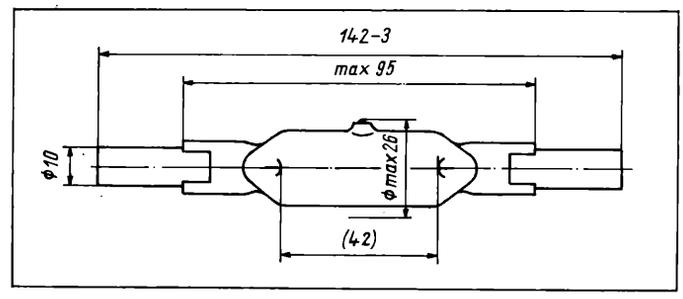


Bild 9. Relative spektrale Strahldichteverteilung der Strahler NS 400-74

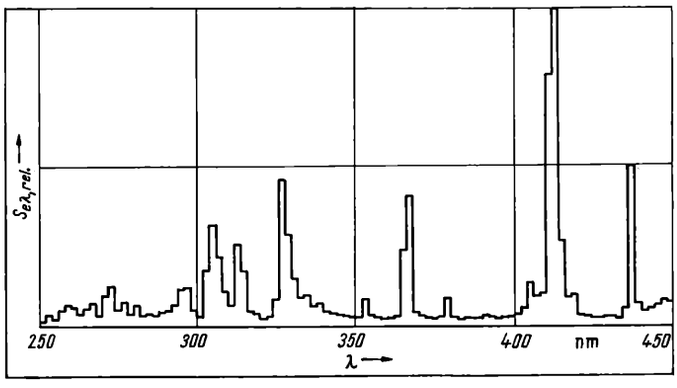


Bild 10. Relative spektrale Strahldichteverteilung der Strahler NS 400-75

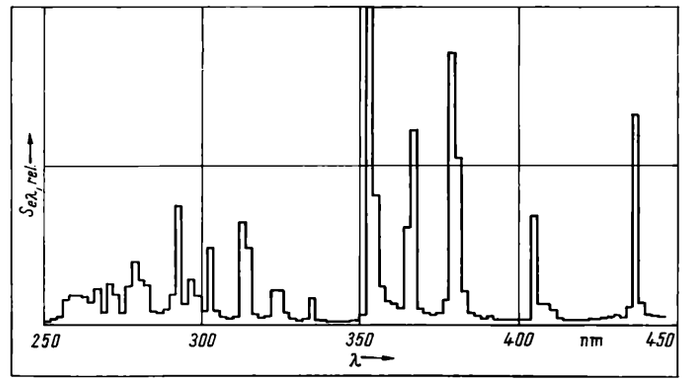


Bild 11. Relative spektrale Strahldichteverteilung der Strahler NS 400-76

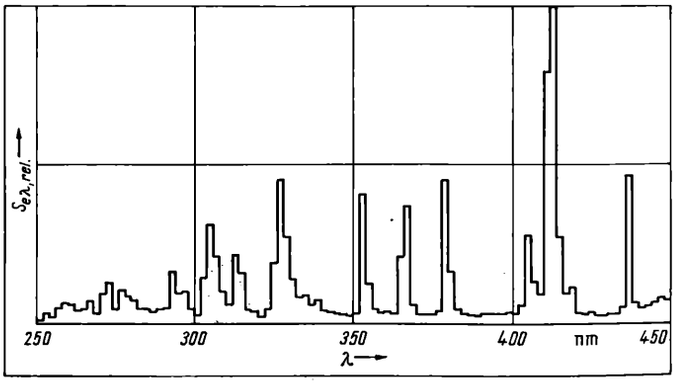
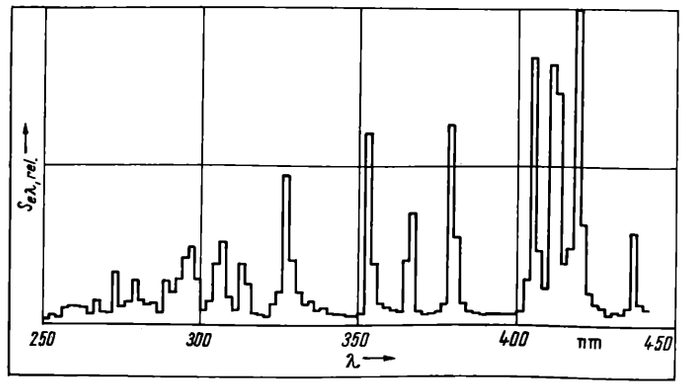


Bild 12. Relative spektrale Stahldichteverteilung der Strahler NS 400-77



1|86 ELEKTRIE

40. Jahrgang | Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik | ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Silberne Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. H.-J. Mau · Prof. Dr. phil. habil. G. Mierdel · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hanella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Das Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" ist in der DDR als größter Hersteller eines vielfältigen Sortiments lichttechnischer Erzeugnisse verantwortlich für die Realisierung des Staatsauftrages „Entwicklung und rationelle Fertigung neuer energiesparender Lichtquellen".
Zu diesem vielseitigen Angebot zählt auch die Quecksilber-Höchstdrucklampe HBO 501, hier ein Foto aus der Produktion, die für Dupliziergeräte, in der Kleinstfilmtechnik sowie in der Mikrochiptechnik eingesetzt wird.
Arbeitsergebnisse von Mitarbeitern des Forschungszentrums für Lichttechnik des Kombinats, die mit ihrer Tätigkeit einen bedeutenden Beitrag zur Erfüllung des Staatsauftrages leisten, finden Sie in den beiden ersten Aufsätzen dieses Heftes.
Foto: Werkfoto

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhaltsverzeichnis

Seite

Aktuelle Information 2

Liewald, H.
Optimale Beleuchtungssysteme auf hohem technologischem Niveau 3

Neue standardisierte Festlegungen für die Realisierung von Automatisierungsanlagen mit Mikroelektronik 4

Fachaufsätze

Amlong, U.-J.; Fischer, M.; Heller, J.
NS 400 — eine neue Reihe Ultraviolettstrahler aus dem Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" 5

Kowollik, G.; Möhring, D.
Betriebsbedingungen und Strahlungseigenschaften von NARVA-Hohlkatodenlampen 8

Koettnitz, H.; Naumann, W.
Aufgaben und Prinzip der Isolationskoordination in Niederspannungsanlagen 9

Ermisch, J.; Hertwig, N.
Potentialgetrennte Meßwerterfassung der Stromstärke in einem weiten Frequenzbereich 14

JAHRESINHALTSVERZEICHNIS 1985 (39. JAHRGANG) 17

Lappat, A.
Zustandsregelung eines elektrischen Antriebes mit elastischer, schwach gedämpfter Mechanik 25

Vlassov, K. P.; Tišenko, V. N.; Šamardina, V. N.
Ein Mehrmotorenasynchronantrieb mit verbesserten dynamischen Eigenschaften für Hebezeuge 28

Budig, P.-K.
Einfluß der Stromverdrängung in Asynchronkurzschlußläufermotoren auf die Erwärmung und das zulässige Drehmoment 30

Kunckel, K.-H.; Bunzel, E.; Münch, U.; Oswald, B.; Paulig, E.; Schubert, P.
Einfache BASIC-Programme für ausgewählte statistische Prüfverfahren 32

Umschau

Kurzberichte 35

Fachtagungen 36

Bücher 38

AKTUELLE INFORMATION

Wissenschaftliche Tage 1986 der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg

Arbeits- und betriebsgestalterische Aspekte der flexiblen Automatisierung im Maschinenbetrieb

11. Projektierungskolloquium der Betriebs- und Arbeitsgestaltung

Zeit: 2. und 3. September 1986

Veranstalter: Sektion Technologie der metallverarbeitenden Industrie;
Wissenschaftsbereiche Arbeitsgestaltung und Betriebsgestaltung

Inhaltliche Schwerpunkte

— Arbeitswissenschaftlich begründete Anforderungen an Automatisierungslösungen
— Arbeitswissenschaftlich begründete Ansatzkonzeptionen für die Werktätigen in flexiblen automatisierten Fertigungen
— Analyse, Bewertung und Gestaltung von technischen und organisatorischen Produktions- und Arbeitsbedingungen in flexiblen automatisierten Fertigungen
— Gestaltung rechnergestützter Arbeit in flexiblen automatisierten Fertigungen
— rechnergestützte Arbeitsweise bei der Lösung betriebs- und arbeitsgestalterischer Probleme
— produktionsorganisatorische Aspekte flexibler automatisierter Fertigungen.

Modernisierung der Grundfonds zur Erhöhung der Effektivität

Fachtagung der Anlageninvestitionen

Zeit: 4. und 5. September 1986

Veranstalter: Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft; Präsidium der KDT, Kommission Grundfondswirtschaft

Inhaltliche Schwerpunkte

— Planung der Modernisierung im Kombinat, insbesondere die langfristig konzeptionelle Arbeit, mittelfristige und kurzfristige Planung von Modernisierungsmaßnahmen; Inhalt und Gestaltung von Modernisierungsaufgaben bei besonderer Beachtung des Einsatzes der Mikroelektronik und der Rechentechnik, von Industrierobotern und der flexiblen Automatisierung; Anforderungen an den Rationalisierungsmittelbau; Erarbeitung von Modernisierungslösungen durch produktionsmittelherstellende Kombinate
— Effektivitätsermittlung und Beurteilung für Modernisierungsmaßnahmen bei besonderer Beachtung der ökonomischen Bewertung im Prozeß der Projektierung von Modernisierungslösungen sowie der ökonomischen und sozialen Bewertung der flexiblen Automatisierung; Anwendung von ökonomisch-mathematischen Modellen für den Aufbau und die Nutzung automatisierter Fertigungssysteme
— Leitung und Organisation des Prozesses von Modernisierungsmaßnahmen; Bildung von Kollektiven und Entwicklungen von Initiativen der Werktätigen; Nutzung von Möglichkeiten der persönlichen und kollektiven Stimulierung.
— Rechtsfragen bei der Modernisierung der Grundfonds
— Projektierung und Anwendung rationeller Lösungen der Produktionsorganisation, der Produktionsprozeßsteuerung sowie der kurzfristigen Produktionsplanung; die Arbeit mit Prozeßmodellen und Erarbeitung von Organisationsprojekten; die Gestaltung der Zuverlässigkeitsarbeit in bestehenden und neu zu errichtenden automatisierten Fertigungsanlagen; ökonomische Bewertung von Organisationslösungen; Aufgaben des Kundendienstes für Modernisierungslösungen

Hochbeanspruchte Wälzpaarungen und Wälzlager

Tribotechnisches Kolloquium Wälzlagertechnik

Zeit: 9. und 10. September 1986

Veranstalter: Sektion Maschinenbau; Wissenschaftsbereich Maschinenbautechnik; VEB Kombinat Wälzlager und Normteile, BT Forschung und Entwicklung

Inhaltliche Schwerpunkte

— Grundlagen für Wälzpaarungen
— Wälzlager
— Schmierung von Wälzpaarungen und Wälzlagern

Anwendung von Mikrorechnern in der Meß- und Automatisierungstechnik

Zeit: 11. und 12. September 1986

Veranstalter: Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik, Wissenschaftsbereiche; Prozeßmeßtechnik, Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen; Forschungsgemeinschaft „Anwendung der Mikroelektronik im Schwermaschinen- und Anlagenbau"

Inhaltliche Schwerpunkte

— Meßwerterfassungsstrukturen für die Prozeßmeßtechnik;
— Intelligente Funktionseinheiten zur Aggregatautomatisierung;
— prozeßnahe Interfaceelektronik;
— Mikrorechnergerätetechnik zur Meßwerterfassung, -übertragung und -vorverarbeitung einschließlich schaltungstechnischer Probleme;
— Fragen der Analogwerteingabe und Meßwertvorverarbeitung;
— Sensor-Anwendungen und Sensoreingangsschaltungen;
— Entwicklung und Anwendung moderner Algorithmen der automatischen Steuerung und ihre Umsetzung in Automatisierungslösungen mit Mikrorechnern in Echtzeitverarbeitung;
— Probleme der Geräte- und Anlagentechnik, ihre Dimensionierung und Projektierung;
— Darstellung ausgewählter Anwendungsfälle der Regelungstechnik und Prozeßsteuerung vornehmlich aus dem Bereich des Maschinen- und Anlagenbaues sowie der Verfahrenstechnik.

Anfragen

Technische Hochschule
„Otto von Guericke"
Magdeburg, Tagungsbüro, Tel. 592209
3010 Magdeburg
PSF 124

Neubauer, Magdeburg EA 2108

Wissenschaftliche Veranstaltungen der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg

IX. Weiterbildung für Absolventen der Sektion Maschinenbau

Zeit: 4. und 5. Februar 1986

Thermischer Apparatebau

5. Fachtagung

Zeit: 1. und 2. Juli 1986

Fertigung und Gütesicherung im Zahnradgetriebebau

VII. Vortragstagung

Zeit: 24. und 25. September 1986

Brand- und Explosionsschutz

3. Fachtagung

Zeit: 29. und 30. Oktober 1986

Anfragen

Technische Hochschule „Otto von Guericke"
Magdeburg, Tagungsbüro, Tel. 592209
3010 Magdeburg
PSF 124

Neubauer, Magdeburg EA 2109

Zum Jahreswechsel
wünschen wir allen unseren Lesern, Autoren,
Beiratsmitgliedern und Korrespondenten
viel Erfolg in der Arbeit,
persönliches Wohlergehen
und weiterhin gute Zusammenarbeit.

Ihre Redaktion

Optimale Beleuchtungssysteme auf hohem technologischem Niveau

Von

Prof. Dr. sc. Harald Gündel

Direktor des Forschungszentrums für Lichttechnik

Dr. oec. Horst Liewald

Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Generaldirektors im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg“

Wenn heute Analysen der modernen Entwicklung von Wissenschaft und Technik auch auf dem Gebiet der Lichttechnik darauf hinweisen, daß wir mit einem beschleunigten Tempo des wissenschaftlich-technischen Fortschritts rechnen müssen, so bedeutet das letztlich, daß weitere Erfolge unseres wirtschaftlichen Wachstums auch auf diesem Gebiet vor allem davon abhängen, wie wir das internationale Tempo mithalten und mitbestimmen werden.

International werden auf Grund der gegenwärtigen und künftigen globalen Energiesituation energische Anstrengungen unternommen, die Beleuchtungssysteme als Ganzes im Hinblick auf ihren Energieverbrauch zu optimieren.

Dabei sind alle Grunddisziplinen der Beleuchtungstechnik angesprochen. Das sind vor allem die Naturwissenschaften Physik und Chemie, z. B. Plasmaphysik, Halbleiterphysik, Physik und Chemie der Kristallherstellung, Physik und Chemie der Leuchtstoffe, Spezialwerkstoffe, Glas, Quarz sowie Probleme der Vakuumphysik und der Vakuumtechnik, aber auch solche Gebiete, wie z. B. die Wahrnehmungspsychologie und nicht zuletzt die Medizin.

Zur Sicherung eines dauerhaften Zuflusses neuer Erkenntnisse auf den für die Entwicklung der Lichttechnik der DDR relevanten Gebieten, für die notwendige Erneuerung von lichttechnischen Erzeugnissen ist ein enges Zusammenwirken der Einrichtungen der Akademie der Wissenschaften der DDR, der Universitäten und Hochschulen und des lichttechnischen Kombinates VEB NARVA „Rosa Luxemburg“ unerläßlich.

Für die lichttechnische Industrie der DDR beginnt jetzt ein neuer Abschnitt der Intensivierung mit

- der Realisierung des bis 1990 weiterzuführenden Staatsauftrages „Entwicklung und rationelle Fertigung neuer energiesparender Lichtquellen“ als wesentlicher Beitrag zur strategisch immer bedeutsameren rationellen Energieanwendung in der DDR
- dem angestrebten kräftigen Zuwachs der Nettoproduktion bei gleichzeitiger Senkung des Produktionsverbrauchs und Höherveredlung der lichttechnischen Erzeugnisse
- einem geplanten hohen Wachstum der Arbeitsproduktivität auf der Basis neuer technologischer Verfahren sowie einer breiten Anwendung rechnergestützter Produktionsvorbereitung und -steuerung (CAD/CAM).

Entsprechend den Orientierungen der 10. Tagung des ZK der SED wird über wissenschaftsorganisatorische Voraussetzungen zunehmend durchgesetzt, die Forschungs- und Entwicklungskapazitäten des Kombinates so mit den wissenschaftlichen Einrichtungen des Hoch- und Fachschulwesens sowie der Akademie der Wissenschaften der DDR zu verflechten, daß

- das dort vorhandene Grundlagenwissen optimal bei der Entscheidungsfindung sowie der Erarbeitung der Kombinatsstrategie genutzt wird
- durch gemeinsame Themenbearbeitung des Planes Wissenschaft und Technik hohes fachliches Niveau mit kurzer Bearbeitungszeit verbunden wird
- durch kurzfristig wirksame wissenschaftliche und wissenschaftlich-technische Unterstützung die Forschungsergebnisse schnell produktionswirksam gemacht werden.

Unter Beachtung der Tatsache, daß die Physik von heute die Technik von morgen ist, andererseits die Technik von heute auch erst die Physik von morgen ermöglicht, werden neue Maßstäbe für die Forschungskooperation zwischen dem Kombinat und den Einrichtungen der Akademie der Wissenschaften der DDR, den Universitäten und Hochschulen gesetzt, indem zum Beispiel

- der Koordinierungsvertrag über die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit zwischen der Akademie der Wissenschaften der DDR und dem Ministerium für Elektrotechnik und Elektronik im Zeitraum 1985 bis 1990, konkret insbesondere mit dem Forschungsbereich Physik der Akademie der Wissenschaften, verwirklicht wird
- die traditionell erfolgreiche Zusammenarbeit mit dem Zentralinstitut für Elektronenphysik der Akademie der Wissenschaften der DDR auf der Basis einer Kooperationsgemeinschaft weiter vertieft wird
- die vorhandene Vertragsforschung mit den Einrichtungen der Universitäten und Hochschulen erweitert wird
- die bestehenden und abzuschließenden Forschungsverträge durch das Forschungszentrum für Lichttechnik des Kombinates durch Begleitthemen auf hohem Niveau koordiniert und die Überleitungen der Ergebnisse qualifiziert vorbereitet werden.

Um diese Aufgaben zu erfüllen, bedarf es eines starken kombinatseigenen Forschungs- und Entwicklungspotentials, insbesondere auch auf dem Gebiet der Vorlaufforschung. Durch den Aufbau einer industriezweigspezifischen Vorlaufforschung im Rahmen des 1982 gegründeten Forschungszentrums für Lichttechnik soll diesem Erfordernis Rechnung getragen werden.

Bisherige Forschungsergebnisse sind Beweis dafür, daß im Kombinat NARVA mit den verfügbaren Kräften und Mitteln der Forschung und Technik effektiv gearbeitet wird, um langfristig stabile Bedingungen für den notwendigen Leistungsanstieg entsprechend den Beschlüssen auf dem Wege zum XI. Parteitag der SED zu schaffen. Das kommt unter anderem auch in den beiden ersten Aufsätzen dieses Heftes zum Ausdruck, die von Mitarbeitern des Forschungszentrums für Lichttechnik des Kombinats NARVA verfaßt worden sind.

EA 2100

Neue standardisierte Festlegungen für die Realisierung von Automatisierungsanlagen mit Mikroelektronik

Um den höheren Anforderungen die an das Leistungsvermögen und die Gestaltungsmöglichkeiten von Automatisierungsanlagen bei der Steuerung und Lenkung von technologischen Prozessen oder deren Teilen in der Industrie und bei haustechnischen Prozessen besser gerecht zu werden, erfolgt der verstärkte Einsatz der Mikroelektronik bis hin zu Mikrorechnersystemen für Prozeßleitsysteme auch im Anlagenbau der DDR. Es entstanden in den letzten Jahren eine Reihe mikrorechnerorientierte Automatisierungssysteme für verfahrenstechnische Anlagen, so z.B. Einrichtungen des Systems

- audatec für die Prozeßautomatisierung in der chemischen Industrie, in Walz- und Zementwerken sowie für Anlagen der Energiewirtschaft und des Bergbaus
- GAA 5000 zur Führung gebäudetechnischer Anlagen für Wohn-, Gesellschafts- und Industriebauten
- CNC 600, PC 600 bis IRS 650 für numerische und programmierbare Steuerungen von Be- und Verarbeitungsmaschinen sowie Industrierobotern.

Dieser verstärkte Einsatz der Mikroelektronik hat zur Folge, daß auch die bestehenden Standards des Anlagenbaus [1] ständig überprüft, ergänzt und den Gegebenheiten der neuen Techniken angepaßt werden müssen. Im Jahre 1985 wurden daher die ersten Vorschriften für Automatisierungsanlagen aktualisiert. Im folgenden werden wichtige Änderungen von Vorschriften genannt, die bei Realisierung von Automatisierungsanlagen zu beachten sind. Für den Bereich der numerischen Programmsteuerungen wurde bereits in [2] berichtet.

1. Anlagen für gebäudetechnische Prozesse

TGL 34219 [3] enthielt in der Ausgabe 1979 bisher lediglich einige Begriffe, Benennungen von Grundfunktionen und die mögliche Automatisierungsstruktur für die zentrale Prozeßführung gebäudetechnischer Anlagen. In der erweiterten Neuausgabe vom März 1985 [4], die ab Januar 1986 verbindlich anzuwenden ist, sind dagegen die technischen Bedingungen für die Leitzentralen, Unter- und Vorortstationen und ein Beispiel (siehe Bild 1) für die Struktur für mikrorechnergesteuerte Automatisierungsanlagen für gebäudetechnische Prozesse (MAG) neu aufgenommen worden. Die technischen Bedingungen auch für diese Automatisierungsanlagen müssen grundsätzlich den Festlegungen nach TGL 32991 [5] entsprechen. Darüber hinaus gibt es spezielle Festlegungen und als Grundforderungen können genannt werden, z.B.

- MAG müssen an Veränderungen gebäudetechnischer Prozesse anpaßbar sein, einen Datenerhalt sichern, wenn dies erforderlich ist und sie müssen so aufgebaut sein, daß der Ausfall einer Einrichtung nicht den Ausfall anderer Einrichtungen verursacht.
- Die Leitzentralen müssen mit den Unter- und/oder Vorortstationen in Verbindung treten und Befehle erteilen können sowie die Protokollierung und Anzeige von festgelegten Prozeßzuständen gewährleisten. An Leitzentralen müssen mindestens periphere EDV-Geräte, wie Anzeigeeinrichtungen, Lochbandleser, -stanzer, Drucker, Empfangsfernschreiber und externe Datenspeicher und an die Unterstationen mindestens Anzeigeeinrichtungen anschließbar sein.
- Die verwendete Software für diese Systeme muß einen Echtzeitbetrieb und die Ansprechbarkeit der funktionell zusammengehörenden Prozeßsignale- oder -informationen ermöglichen, modular und generierfähig sein, Eigenüberwachung und Fehlererkennungsroutinen beinhalten sowie RESTART und NEUSTART der einzelnen Programme ermöglichen.

Besonders wichtig sind die technischen Festlegungen zur einheitlichen Anwendung der elektrischen Versorgungsenergie mit Spannungen von 220 V Wechselstrom und 50 Hz oder 24 V Gleichstrom sowie der Signalparameter vom und zum gebäudetechnischen Prozeß, wie z.B. 0 bzw. 4 bis 20 mA oder 0 bis 10 V.
Desweiteren müssen innerhalb der MAG Einrichtungen zur Spannungsüberwachung vorhanden sein, die automatisch ein Signal bereitstellen, das die zwangsweise Steuerung des Prozesses in den gefahrenlosen Zustand ermöglicht. Ebenso muß die ordnungsgemäße Funktion der eingesetzten Mikrorechner überwacht werden. Ist keine Funktionssicherheit durch RESTART bzw. NEUSTART erreichbar, so muß die Überwachungseinrichtung den Mikrorechner automatisch abschalten.
Die elektrische Datenübertragung zwischen den einzelnen Einrichtungen der MAG soll in der Regel einheitlich bitseriell über Zweidrahtleitungen nach der Gleichstrom-Datenübertragung mit Niedrigpegel nach den CCITT-Empfehlungen (Grünbuch Band 8/72) oder dem Stromschleifenprinzip (20 mA geprägter Gleichstrom) nach festgelegten Datenübertragungsraten ab 600 bit/s erfolgen.
Für in MAG eingesetzte Einrichtungen sind zur Einhaltung der zulässigen Umgebungseinflüsse zu realisieren.

- die Einsatzklasse nach TGL 9200/03 für die
  - Leitzentrale: +5/+40/+25/80//1101
  - Unter- und Vorortstation: +5/+35/+25/80//3201 sowie
- als Mindestschutzgard nach TGL RGW 778 für die
  - Leitzentrale: IP 20
  - Unter- und Vorortstation: IP 43.

Als Zuverlässigkeitskenngrößen sind für MAG die Kennwerte der Fehlerfreiheit, der Langlebigkeit und der Instandhaltungseignung in den normativ-technischen Dokumenten anzugeben und durch Prüfungen nachzuweisen.

Fortsetzung auf S. 35

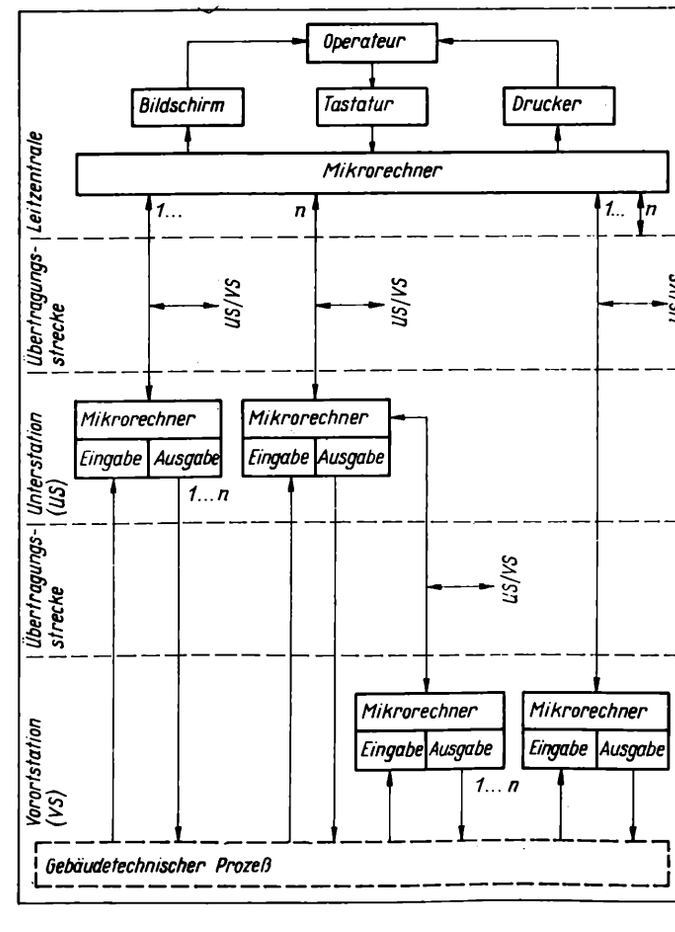


Bild 1
Beispiel für die Struktur einer mikrorechnergesteuerten Automatisierungsanlage für gebäudetechnische Prozesse

NS 400 – eine neue Reihe Ultraviolettstrahler aus dem Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"

U.-J. Amlong, KDT; M. Fischer, KDT; J. Heller, KDT; Berlin

Seit vielen Jahren wird ultraviolette Strahlung in der Medizin, Kosmetik und Technik benutzt. Neben dem Sonnenlicht, das auch Anteile im lang- und mittelwelligen Ultraviolett enthält, werden vor allem Quecksilberstrahler eingesetzt. Je nach dem Betriebsdruck des Quecksilbers kann damit Ultraviolettstrahlung mit verschiedenen Anteilen in den Gebieten UV-A, UV-B und UV-C erzeugt werden. Mit der Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik wuchsen die Kenntnisse über die relativen spektralen Wirkungsfunktionen, so daß man heute recht gut weiß, für welche Prozesse Strahlung bestimmter Wellenlängengebiete anzuwenden ist. Zur Entkeimung z. B. wird UV-Strahlung mit Wellenlängen um 250 nm gebraucht, die Wellenlängen von Strahlung zur Erzeugung eines Erythems sollten bei 300 nm liegen, die Direktbräunung der menschlichen Haut erfolgt am schnellsten mit Strahlung um 350 nm und viele Prozesse in der Technik, wie die Aushärtung von Kunststoffen oder die Belichtung von Druckplatten, lassen sich am besten unter Strahlung um 380 nm vollziehen.

Diesen speziellen Anforderungen zeigte sich die Quecksilberstrahlung, die auf einige wenige Wellenlängengebiete konzentriert ist, bald allein nicht mehr gewachsen. Neben den wirkungvollen, aber aufwendigen Xenonstrahlern kamen daher Halogen-Metalldampfstrahler ins Angebot, bei denen das Quecksilberspektrum durch bestimmte Zusätze, beispielsweise Eisen- oder Galliumjodid, aufgefüllt wird. Diese Entwicklung setzte sich fort, so daß heute besonders in den Leistungsgrößen über 1000 W international ein hohen Ansprüchen genügendes Sortiment Ultraviolettstrahler zur Verfügung steht.

Für viele Anwendungen, besonders bei Rationalisierungsvorhaben kleineren Umfangs, werden jedoch Strahler geringerer Leistungsaufnahme benötigt, die in bestimmten Spektralgebieten mit hohem Wirkungsgrad strahlen und an 220 V Wechselspannung zu betreiben sind. Mit der neuen UV-Strahlerreihe NS 400 aus dem Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg", die im folgenden beschrieben wird, kann diese Lücke geschlossen werden (siehe Bild 1 auf der 2. US).

1. Konstruktiver Aufbau der Strahler

Bei der Entwicklung von Halogen-Metalldampflampen für verschiedene Beleuchtungs- und Bestrahlungsaufgaben wurden empirische Beziehungen gefunden, die für die Konstruktion von Entladungsgefäßen Bedeutung haben. Aus der projektierten Leistungsaufnahme P_L und dem angestrebten Lampenstrom I_L ergeben sich mit den Beziehungen

$$d_i \approx \sqrt{I_L} \tag{1}$$

$$d_E \approx \frac{P_L^{1,1}}{100\sqrt{I_L}}. \tag{2}$$

Anhaltspunkte für den zu wählenden Innendurchmesser des Entladungsrohres d_i und den Elektrodenabstand d_E.

Die Auswahl der Leuchtzusätze erfolgt in erster Linie nach den Anforderungen an die spektrale Energieverteilung. Jedoch sind nicht alle denkbaren Zusätze für den Einsatz geeignet, da sie die Entladung beeinflussen. Aus der Bedingung

$$\frac{\overline{V}_a}{V_i} \geqq 0{,}58 \tag{3}$$

mit $\overline{V}_a$ = mittlere Anregungsspannung und V_i = Ionisierungsspannung der in Betracht gezogenen Elemente, kann man abschätzen, ob die gewählten Strahlungszusätze für eine wandstabilisierte Entladung erfolgversprechend sind.

Die Tatsache, daß die Entladungsgefäße der Strahler nicht wie z. B. bei Lampen für Beleuchtungsaufgaben in einen hermetisch geschlossenen Kolben eingebaut sind, sondern in mehr oder weniger gelüfteten Leuchten frei betrieben werden, erforderte eine Korrektur der nach den Beziehungen (1) und (2) ermittelten Konstruktionsparameter.

Zur Halterung und Kontaktierung der Strahler wurden metallische Hülsensockel gewählt. Sie gewährleisten einen sicheren elektrischen Kontakt und die Möglichkeit einer effektiven, großflächigen Wärmeableitung von den temperaturempfindlichen Stromdurchführungen.

Bild 2 (auf der 2. US) enthält alle für den Einsatz der Strahler NS 400 wichtigen mechanischen Abmessungen.

2. Betriebsbedingungen

Die Strahler der Typenreihe NS 400 werden nach Schaltbild der Bilder 3a und 3b (auf der 2. US) unter Vorschaltung eines induktiven Vorschaltgerätes am 220-V-Wechselspannungsnetz betrieben. Der Stromkreis enthält außerdem zur Einleitung der Zündung ein Zündgerät.

Für den Betrieb der Strahler ist die waagerechte Brennstellung $\pm 15°$ vorgesehen. Die Strahler sind für den Einbau in Leuchten mit Reflektoren entwickelt, wobei folgendes zu berücksichtigen ist:

Die Temperatur der Sockelhülsen, gemessen oben 12 mm entfernt vom hinteren Ende der Hülse, darf 320 °C nicht überschreiten. Die Eigenerwärmung eines freibrennenden Strahlers beträgt an dieser Stelle etwa 130 °C.

Diese Forderung bedingt gegebenenfalls eine Zwangslüftung der Leuchte. Dabei ist jedoch darauf zu achten, daß das eigentliche Entladungsgefäß, der Raum zwischen den Elektroden, nicht angeblasen wird. Eine Kühlung der Wand kann das Auskondensieren von Plasmakomponenten bewirken und zur Minderung der Strahlungsleistung führen.

Für die Halterung und Kontaktierung der Strahler existieren keine handelsüblichen Fassungen. Mit dem Bild 4 wird ein Vorschlag für die Gestaltung einer geeigneten Halterung unterbreitet. Bei der

Bild 4
Vorschlag für die Ausführung einer Strahlerhalterung

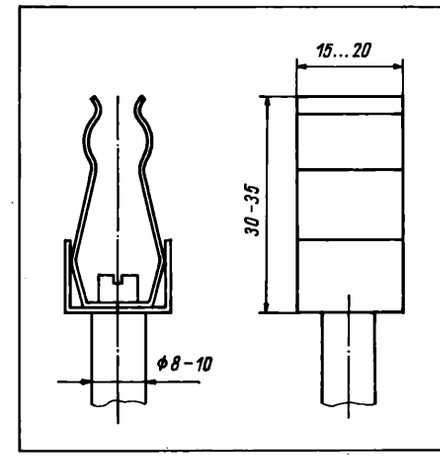
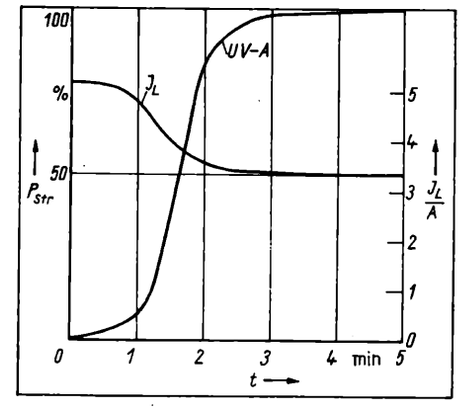
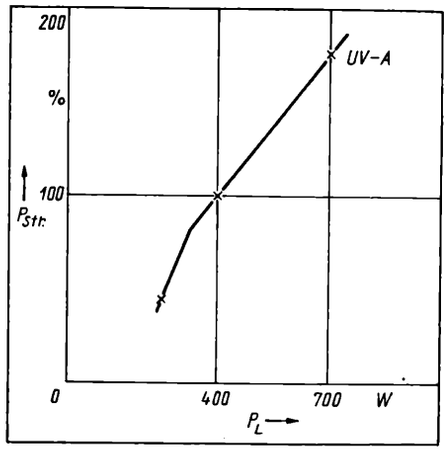


Bild 5
Anlaufverhalten der Strahler NS 400



Dr. rer. nat. *Uwe-Jens Amlong* ist Abteilungsleiter, Ing. *Manfred Fischer* ist Applikations-Ingenieur, Dipl.-Physiker *Jürgen Heller* ist Mitarbeiter für Forschung und Entwicklung im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg".

Der vorliegende Beitrag entstand aus der überarbeiteten Fassung eines Fachvortrages zur Leipziger Frühjahrsmesse 1985.



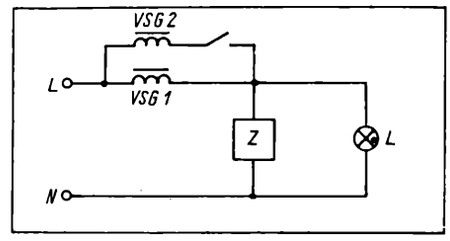
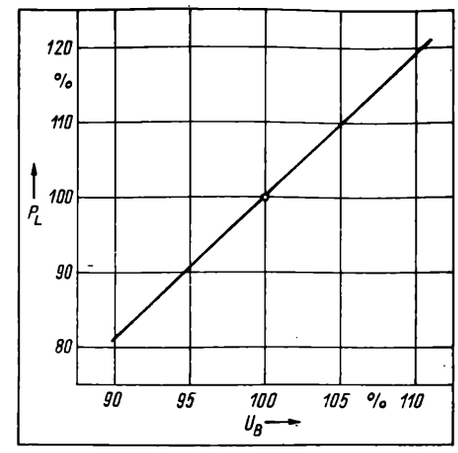


Bild 8. Schaltung für leistungsgesteuerten Betrieb

Bild 7. Strahlungsleistung im UV-A in Abhängigkeit von der aufgenommenen Leistung

Bild 6. Abhängigkeit der Leistungsaufnahme von der Betriebsspannung



Konstruktion einer Bestrahlungseinheit ist jedoch zu prüfen, ob im Zusammenspiel Leuchte-Halterung die genannten Bedingungen erfüllt werden.

3. Betriebsverhalten

Nach dem Einschalten der Betriebsspannung werden die Strahler durch das Zündgerät gezündet. Infolge der zunehmenden Erwärmung verdampfen das im Strahler befindliche Quecksilber und die Strahlungszusätze. Nach etwa 3 Minuten hat das Plasma seine optimale Zusammensetzung hinsichtlich des Drucks und der Mischungsverhältnisse erreicht und der Strahler gibt seine volle Strahlungsleistung ab. Bild 5 zeigt die Änderung der Strahlerparameter in dieser Anlaufphase.

Im stationären Betrieb hängt die aufgenommene elektrische Leistung und damit auch die Strahlungsleistung von der Betriebsspannung ab. Diese Verhältnisse werden durch die Bilder 6 und 7 verdeutlicht.

Bei einer Einschaltdauer von 8 Stunden je Zündung erreichen die Strahler eine Lebensdauer von 1000 Stunden. Wie aus dem Anlaufverhalten ersichtlich, durchlaufen die Strahler nach jeder Zündung eine Betriebsphase, in der sowohl die Plasmazusammensetzung als auch die Elektrodentemperatur nicht optimal sind. Deshalb beeinflussen diese Phasen die Lebensdauer negativ. Tafel 1 gibt einen Anhaltspunkt über den Einfluß der Schalthäufigkeit auf die zu erwartende Lebensdauer.

Nach dem Abschalten benötigen die Strahler eine Abkühlzeit, bis sie durch das Zündgerät wieder gezündet werden können. Diese Zeit ist abhängig von der Wärmekapazität der Leuchte oder Bestrahlungsanordnung. Im allgemeinen kann man mit Wiederzündzeiten von 10 bis 15 Minuten rechnen. Um bei periodisch ablaufenden Arbeitsprozessen eine höhere Produktivität zu erzielen, wurde seitens der Anwender der Wunsch geäußert, die Strahler zeitweilig auch mit Überlast betreiben zu können. Versuche dazu ergaben, daß ein solcher Betrieb möglich, aber mit einer Verringerung der Lebensdauer verbunden ist.

Bei einem Schaltbetrieb mit Wechseln von Nennleistung P_N und überhöhter Leistung $P_{\ddot{U}}$ läßt sich in Abhängigkeit vom Schaltrhythmus eine mittlere Leistungsaufnahme P_M des Strahlers mit

$$P_M = \frac{P_N t_N + P_{\ddot{U}} t_{\ddot{U}}}{t_N + t_{\ddot{U}}} \tag{4}$$

ermitteln, wobei t_N die Betriebsdauer mit Nennleistung und $t_{\ddot{U}}$ die Betriebsdauer mit überhöhter Leistung ist.

Die zu erwartende Strahlerlebensdauer L ergibt sich dann mit

$$L \approx L_N \left(\frac{P_N}{P_M}\right)^{2,5}. \tag{5}$$

Dieser Zusammenhang gilt für Strahler NS 400 von der Nennleistung 400 W bis zu einer mittleren Leistung von etwa 700 W, wobei mit 700 W auch die höchste, dem Strahler aufzuprägende Leistung gegeben ist.

L_N in Beziehung (5) ist die für eine bestimmte Einschaltquote bei der Nennleistung 400 W ermittelte Lebensdauer, z. B. 1000 h bei 8 Stunden je Zündung (siehe Tafel 1). Nach Beziehung (5) kommt man bei dieser Einschaltquote und einem Schaltbetrieb mit Wechseln zwischen Nennleistung und überhöhter Leistung entsprechend einer mittleren Leistungsaufnahme von 550 W auf eine Lebensdauer von etwa 450 Stunden.

Tafel 1. Abhängigkeit der Strahlerlebensdauer von der Einschaltdauer je Zündung

Einschaltdauer je Zündung	Strahlerlebensdauer
8 Stunden	1000 Stunden
2 Stunden	800 Stunden
0,5 Stunden	500 Stunden

Liegt die Einschaltquote jedoch höher, z. B. bei 2 Stunden je Zündung, so ist unter den gleichen Bedingungen im Schaltbetrieb nur eine Lebensdauer von etwa 360 Stunden zu erwarten. Ein Schaltbetrieb läßt sich mit der im Bild 8 angegebenen Schaltung realisieren.

Schließlich ist zu bemerken, daß diese orientierenden Betrachtungen nur für den Übergang von Nennleistung zu überhöhter Leistung gelten. Ein Betrieb der Strahler mit niedrigerer Leistung als der Nennleistung führt je nach Ausführung der Leuchteneinheit zum teilweisen Kondensieren der Strahlungszusätze und damit zu unbestimmten Betriebsbedingungen, die zu vorzeitigem Ausfall der Strahler führen können. Bei leistungsgesteuerten Betriebsweisen ist darauf zu achten, daß die Anlaufphase in jedem Fall unter den Bedingungen des Normalbetriebes erfolgt!

4. Strahlungstechnische Kennwerte

Das Sortiment der neuen 400-W-Halogen-Metalldampfstrahler umfaßt z. Z. vier Typen (davon liegt ein Typ zunächst als Versuchsmuster vor), die sich in ihrer spektralen Strahldichteverteilung unterscheiden. Ziel der Entwicklung war es, mit den einzelnen Typen eine möglichst hohe Strahlungsausbeute im UV-B, UV-A und im kurzwelligen sichtbaren Spektralbereich zu erzeugen. Die UV-C-Strahlung wird durch Verwendung eines speziellen, nicht ozonbildenden Kieselglases (NOQ) stark beschnitten. Dadurch wird erreicht, daß keine Ozonbildung auftritt, die bei Anwendung der Strahler zusätzliche arbeitsschutztechnische Maßnahmen erfordern würde.

Auf den Bildern 9 bis 12 (auf der 2. US) sind die relativen spektralen Strahldichteverteilungen der vier Strahlertypen dargestellt (Tafel 2). In der Tafel 3 sind die Werte für die Bestrahlungsstärke in verschiedenen Wellenlängenbereichen, die ein Strahler ohne Reflektor in 1 m Entfernung erzeugt, angegeben. Die in Tafel 3 aufgeführten Werte gelten für neue Strahler. Im Verlauf der Nutzungsdauer reduzieren sich diese Werte infolge von Kolbenschwärzungen durch abgedampftes Elektrodenmaterial. Bild 13 zeigt die Abnahme der UV-A-Strahlung im Verlauf der Brenndauer. Die untere Begrenzung des schraffierten Bereiches, der die Streuung zwischen Einzelexemplaren angibt, stellt gleichzeitig die Mindestqualitätsforderung dar. Der Einfluß der Schalthäufigkeit auf die Lebensdauer wurde im Abschnitt 3 behandelt.

5. Praktische Anwendungsmöglichkeiten der Strahler

Bereits bei der Entwicklungsvorbereitung war eine Reihe von potentiellen Anwendern einbezogen, so daß die speziellen Forderungen, die sich für die verschiedenen Einsatzzwecke ergaben, bei der Entwicklung berücksichtigt werden konnten. Hieraus resultiert, daß das neue Strahlersortiment 4 Typen umfaßt, die sich in ihrer spektralen Strahldichteverteilung unterscheiden.

Die zunächst als Versuchsmuster vorliegenden Strahler NS 400-74 emittieren vor allem im Wellenlängenbereich 280 bis 330 nm. Da in

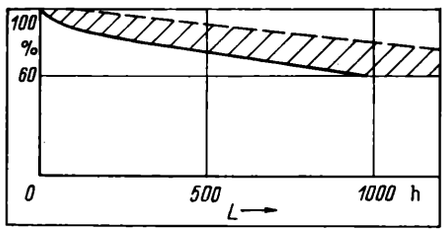


Bild 13. Rückgang der Strahlungsleistung im UV-A während der Brenndauer

Tafel 2. Die relativen spektralen Strahldichteverteilungen der 400-W-Halogen-Metalldampfstrahler (siehe Bilder 9 bis 12)

NS 400-74 Versuchsmuster	NS 400-75	NS 400-76	NS 400-77
Der größte Anteil der emittierten Strahlung liegt im UV-B und im kurzwelligen UV-A.	Bei diesem Strahler ist die UV-A-Strahlung auf den Wellenlängenbereich 350 bis 380 nm konzentriert.	Im Gebiet 300 nm bis 380 nm ist die Strahlungsenergie relativ gleichmäßig verteilt, wobei im UV-A ein Strahlungsschwerpunkt bei 325 nm liegt.	Im UV-A ähnelt die relative spektrale Strahldichteverteilung der des Strahlers NS 400-76, jedoch ist der Strahlungsanteil im Wellenlängengebiet 400 bis 440 nm durch zusätzliche Spektrallinien verstärkt worden.

diesem Gebiet auch die relative spektrale Wirkungsfunktion der Psoriasis (Schuppenflechte) liegt, kann der Strahlertyp für eine direkte Phototherapie dieser verbreiteten Hautkrankheit Bedeutung gewinnen. Die Konzentration der UV-A-Strahlung des Strahlers NS 400-75 auf das Gebiet 350 bis 380 nm macht diesen Typ besonders geeignet für kosmetische Zwecke. In Verbindung mit einer notwendigen Filterung, die die hautschädigenden Strahlungsanteile unterdrückt, erreicht man eine hohe Effektivität bei der Direktpigmentierung. Auch bei der Behandlung bestimmter Hautkrankheiten, beispielsweise der Akne, sind positive Ergebnisse zu erwarten.

Der Strahler NS 400-76 stellt eine Typenerweiterung zum bereits produzierten Strahler NS 1000-76 dar. Er findet Anwendung sowohl in der Medizin als auch zur Durchführung technischer photochemischer Prozesse. Bei der Herstellung von Leiterplatten auf der Basis kupferkaschierten Materials und Verwendung des Photolacks ORWO PKL 22 wurden mit diesem Strahler gute Ergebnisse erzielt, die sich in kürzeren Belichtungszeiten bzw. Energieeinsparungen gegenüber den bisher verwendeten herkömmlichen Lichtquellen niederschlagen. Bedeutende Energieeinsparungen wurden auch bei der Anwendung der Strahler zur Aushärtung von Kunstharzen erzielt.

In der Kopier- und Mikrofichetechnik zeigt der Strahler NS 400-77 die besten Ergebnisse.

An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß die spektralen Wirkungskurven der verschiedenen Materialien teilweise noch mit größeren Unsicherheiten behaftet sind, so daß eine theoretische Vorauswahl des geeigneten Strahlers manchmal schwerfällt. Praktische Versuche geben oft eine sicherere und schnellere Auskunft. Speziell bei der Aushärtung von Kunstharzen kann sich die spektrale Wirkungsfunktion durch die Zugabe von Sensibilisatoren und Füllstoffen ändern. Auch Photolacke verschiedener Hersteller differieren in ihrer spektralen Empfindlichkeit.

6. Hinweise zum Arbeitsschutz

Es ist bekannt, daß UV-Strahlung je nach Wellenlängenbereich unterschiedliche Wirkungen auf den menschlichen Körper ausübt. Die von den Strahlern der Typenreihe NS 400 emittierte Strahlung reicht herab bis zu Wellenlängen von 230 nm, umfaßt also auch Wellenlängenbereiche, die schädigend auf Haut und Augen wirken. Deshalb müssen bei der Anwendung der Strahler NS 400 die gleichen sicherheitstechnischen Maßnahmen ergriffen werden, die auch beim Umgang mit anderen UV-Strahlertypen gefordert werden.

Die zu treffenden Maßnahmen richten sich nach den jeweiligen Bedingungen. Beim Einsatz für kosmetische Zwecke muß man fordern, daß die Bestrahlungsgeräte so ausgeführt sind, daß keine schädigende Strahlung austritt oder die Dosis, d. h. das Produkt aus Bestrahlungsstärke und Bestrahlungsdauer, zu hoch gewählt werden kann. Bei technischen Anwendungen, wo z. B. den menschlischen Körper schädigende Strahlung genutzt werden soll, muß der sicherheitstechnisch notwendige Aufwand am konkreten Fall entschieden werden. Dieser kann von geeigneter Schutzbekleidung bis zu Maßnahmen reichen, die sicherstellen, daß die Anlage nur in Betrieb gesetzt werden kann, wenn sich keine Personen im Raum befinden. Es wird darauf hingewiesen, daß nicht nur die direkt vom Strahler kommende Strahlung beachtet werden muß, sondern daß auch die an Wänden oder Geräteteilen reflektierte Strahlung in die Betrachtungen einzubeziehen ist. Über weitere Hinweise und einzuhaltende Dosen siehe [1].

7. Ausblick

Halogen-Metalldampfentladungen bieten die Möglichkeit, die spektrale Strahldichteverteilung der ausgesandten Strahlung zu manipulieren. Damit kann erreicht werden, daß der Hauptteil der Strahlung in den Wellenlängengebieten erzeugt wird, in denen der jeweilige technische oder medizinische Prozeß seine größte Empfindlichkeit aufweist. Voraussetzung für eine Optimierung ist die genaue Kenntnis der spektralen Wirkungsfunktion derartiger Prozesse. Mit der Erweiterung der Kenntnisse über die Wirkungsfunktionen wird es möglich sein, das vorgestellte Strahlersortiment zweckentsprechend zu vervollständigen.

Tafel 3. Bestrahlungsstärke im Wm^{-2} bei einer Entfernung von 1 m für verschiedene Wellenlängenbereiche

Spektralgebiet	NS 400-74	NS 400-75	NS 400-76	NS 400-77
280 bis 315 nm	2,1	1,6	1,4	1,5
315 bis 350 nm	1,8	0,4	1,3	1
350 bis 380 nm	1,2	3,5	1,7	1,9

8. Zusammenfassung

Es wird ein neues Strahlersortiment mit einer Leistungsaufnahme von 400 W vorgestellt. Die strahlungstechnischen Parameter und das Betriebsverhalten werden beschrieben. Mögliche Einsatzgebiete für Strahlungsanwendungen im UV-B und UV-A sowie im kurzwelligen sichtbaren Spektralbereich werden diskutiert. Auf die Notwendigkeit sicherheitstechnischer Maßnahmen bei der Anwendung wird hingewiesen.

Die wichtigsten Kennwerte sind:

Strahlertypen	NS 400-74 (Versuchsmuster) NS 400-75; NS 400-76; NS 400-77
Betriebsspannung	220 V Ws
Vorschaltgerät*)	VMHD 400
Zündgerät*)	HQZ 400; ThZ 175 ··· 400
Kompensationskondensator	25 µF
Brennstellung	waagerecht ± 15°
Maxim. Sockeltemperatur	320 °C
Strahlerspannung	(130 ± 15) V
Strahlerstrom	3,35 A
Anlaufstrom	etwa 5 A
Leistungsaufnahme	400 W
Anlaufzeit	etwa 3 min
Wiederzündzeit	10 bis 15 min
Gesamtlänge max.	142 mm
Durchmesser der Sockel	10 mm

*) Hersteller: Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg", Elektrobau Weida, BT Oschatz

Literatur

[1] *Methling, D.;* u. a.: Empfehlungen zum Umgang mit UV-Strahlung. Informationen der ZAG Techn. Arbeitshygiene 16 (1983) 1, 23 – 32

EA 5616

Betriebsbedingungen und Strahlungseigenschaften von NARVA-Hohlkatodenlampen

G. Kowollik, KDT; D. Möhring, KDT; Berlin

1. Vorbemerkung

In den letzten Jahren wurden im VEB Kombinat NARVA „Rosa Luxemburg" Berliner Glühlampenwerk weitere Typen von Hohlkatodenlampen (HKL) neu entwickelt. Zu den bereits 1975 gefertigten HKL für die Elemente Al, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb und Zn [1] konnten bis 1981 stufenweise HKL für die Elemente Ag, Au, Cd, Co, Ir, Pd, Pt, Si, Sn, Ti, W und Zr in das Produktionsprogramm aufgenommen werden. Speziell für die Korrektur der unspezifischen Absorption im UV-Bereich wurde eine Deuterium-HKL entwickelt, die sich seit 1979 im Angebot befindet.

Umfangreiche Untersuchungen in den Jahren 1980—1983 hatten zum Ziel, wesentliche Verbesserungen des Gebrauchswertes der genannten HKL zu erreichen. Der Innenaufbau und die Anodenform wurden verändert, um die elektrische Abschirmwirkung zu erhöhen und Überschläge oder Katoden-Außenentladungen während des Fertigungsprozesses und beim Betrieb der Lampen zu vermeiden.

Tafel 2. Betriebsdaten für HKL

Typ	Element	Wellenlänge der bevorzugten Resonanzlinie nm	Kolbenform nach Bild	Fenstermaterial	Füllgas	max. Lampenstrom mA	Betriebsstrom	Lampenspannung etwa V
AgHK	Silber	328,1	1	Ggl 320	Ne	15	5	220
AlHK	Aluminium	309,3				20	8	170
AuHK	Gold	242,8	2	Kieselglas		15	5	220
CaHK	Calcium	422,7	1	Ggl 320		20	8	170
CdHK	Cadmium	228,8	2	Kieselglas	Ar	10	5	230
CoHK	Cobalt	240,7			Ne	25		
CrHK	Chrom	357,9	1	Ggl 320			8	190
CuHK	Kupfer	324,7				20	5	230
FeHK	Eisen	248,3	2	Kieselglas			8	190
IrHK	Iridium	285,0				25	10	180
MgHK	Magnesium	285,2		Ggl 550	Ar	20	3	130
MnHK	Mangan	279,5			Ne		10	200
MoHK	Molybdän	313,3					8	150
NiHK	Nickel	232,0		Kieselglas				210
PbHK	Blei	217,0				15	5	180
PdHK	Palladium	247,6				20	10	170
PtHK	Platin	265,9					8	190
SiHK	Silicium	251,6					14	
SnHK	Zinn	224,6				12	10	
TiHK	Titan	364,3	1	Ggl 320		25	14	160
WHK	Wolfram	400,9						140
ZnHK	Zink	213,9	2	Kieselglas		12	5	230
ZrHK	Zirconium	360,1	1	Ggl 320	Ar	25	10	140
D_2HK	Deuterium	Kontinuum v. 200 bis 350	2	Kieselglas	D_2	30	10	370

Tafel 1. Lampenabmessungen (in mm)

Kenngröße	Kolbenform nach Bild 1	Kolbenform nach Bild 2
Gesamtlänge l_1 (höchstens)	147	
Einspannlänge l_2	130 ± 2	
Abstand der Katodenvorderkante zur Lampenstirnfläche l_3	78 ± 1	
Kolbendurchmesser d_1	38,5 − 1,0	38,8 − 1,5
Nutzbarer Fensterdurchmesser d_2	34,0 − 4,0	26,0 − 4,0
Fensterdurchmesser außen d_3	38,5 − 1,0	29,0 − 2,0
Sockeldurchmesser d_4	42, 5 − 0,5	
Sockelhöhe h	35,5 ± 0,5	

Dies führte gleichzeitig zu einer Absenkung der Zündspannungswerte.

Der Katodeninnendurchmesser wurde (außer Deuterium-HKL) generell auf 3 mm verringert. Dadurch konnten Strahlstärkeanhebungen erzielt werden [2]. Die Ausführungsform der HKL mit aufgekitteter Kieselglasscheibe wurde durch HKL mit aufgeschmolzener Kieselglasscheibe abgelöst, um das Lagerungsverhalten der Lampen bedeutend zu verbessern.

Aus Gründen der Materialökonomie wird künftig bei den HKL für die Elemente Mn, Mg und Mo ein Strahlungsaustrittsfenster aus UV-Spezialglas Ggl 550 anstelle Kieselglas eingesetzt. Die funktionellen Parameter dieser Typen werden dadurch nicht beeinträchtigt.

2. Lampengeometrie

Die Umstellung der Verbindungstechnologie für das Strahlungsaustrittsfenster mit dem Kolben führte zwangsläufig zu einer veränderten Lampengeometrie. Die HKL mit einem Fenster aus Kieselglas und UV-Spezialglas Ggl 550 besitzen Kolben, die sich zur Aufschmelzstelle hin verjüngen; HKL mit einem Fenster aus Rasothermglas Ggl 320 behielten ihre bisherige zylindrische Form bei.

Die Bilder 1 und 2 (auf der 3. US) zeigen die Geometrie der weiterentwickelten NARVA-HKL. Tafel 1 enthält die Abmessungen dazu.

Die Fenstermaterialien der einzelnen HKL-Typen können der Tafel 2 entnommen werden. In Bild 3 (auf der 3. US) sind die Transmissionskurven dieser Gläser für den Spektralbereich von 200 nm bis 400 nm dargestellt.

3. Betriebsbedingungen

Das 24 Typen umfassende Sortiment war ursprünglich den Betriebsbedingungen der vom VEB Carl Zeiss Jena produzierten Atomabsorptionsspektralphotometer AAS 1 und AAS 1 N angepaßt: Impulsbetrieb der Lampen im Tastverhältnis 1:2 (Stromflußdauer pro Meßzyklus) bei einer Modulationsfrequenz von 300 Hz.

Seit 1983 wird im VEB Carl Zeiss Jena das weiterentwickelte Atomabsorptionsspektralphotometer AAS 3 gefertigt [3]. Es machte sich erforderlich, das NARVA-Sortiment an HKL an veränderte Betriebsregime dieses Gerätes anzupassen. Im Gegensatz zum AAS 1 ist hier auch ein Betrieb der Lampen im Tastverhältnis 1:4 möglich. Außerdem wurde die Impulsfrequenz von 300 auf 40 Hz herabgesetzt. Im Tastverhältnis 1:4 wird die Lampe bei gleichem eingestellten mittleren Lampenstrom mit höheren Stromspitzenwerten betrieben, als im Tastverhältnis 1:2. Dadurch werden höhere Strahlungsintensitäten erzielt.

Die wichtigsten Betriebsdaten der HKL sind in Tafel 2 enthalten. Die angegebenen Wellenlängen und Betriebsströme stellen die vom Gerätehersteller empfohlenen Betriebsparameter dar, bei denen eine hohe Nachweisempfindlichkeit erreicht wird. Der Betrieb bei höherer Stromstärke setzt die Lebensdauer der Lampe stark herab. Deshalb sollte ein Betrieb bis zur angegebenen Maximalstromstärke nur in Ausnahmefällen und kurzzeitig erfolgen.

Dr. rer. nat. *Gerd Kowollik* ist Gruppenleiter, Dipl.-Phys. *Diethard Möhring* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungszentrum des VEB Berliner Glühlampenwerk im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg".

Zur sicheren Zündung aller HKL-Typen muß die Versorgungsspannung mindestens 450 V betragen.

Um ein stabiles Brennverhalten ohne starke Intensitätsdrift zu erreichen, müssen die Lampen vor Beginn der Messungen mindestens 20 min mit Betriebsstrom vorgebrannt werden.

4. Lampenspektrum

Die Aufnahme der in Bild 4 (auf der 3. US) dargestellten Lampenspektren wurde am AAS 1 des VEB Carl Zeiss Jena unter den vom Gerätehersteller empfohlenen Betriebsbedingungen der Lampen vorgenommen. Das Gerät war mit einem Sekundärelektronenvervielfacher des Typs M 11 FVS 300 (Hersteller: VEB Werk für Fernsehelektronik) bestückt. Die Spaltbreite betrug 0,1 mm. Die Aufzeichnung erfolgte mittels eines Kompensationsschreibers K 100 (Hersteller: VEB Carl Zeiss Jena), der mit dem AAS 1 gekoppelt worden war. Der Spektralbereich betrug etwa ± 2 nm um die empfohlene Analysenlinie.
Neben dem Spektrum um die in Tafel 2 angegebene Spektrallinie wurde beim größten Teil der Lampen der Spektrumverlauf um eine zweite nutzbare Spektrallinie dargestellt.
Ein Intensitätsvergleich der Lampentypen untereinander ist anhand der Spektren nicht möglich, da die Stromstärken unterschiedlich (Betriebsstromstärken nach Tafel 2) und außerdem die Geräteparameter (SEV-Spannung, Verstärkung) so gewählt wurden, daß eine hohe Auflösung erreicht wird. Die Halbwertsbreite der Resonanzlinien liegt in der Größenordnung von 10^{-3} bis 10^{-2} nm [2]. Bedingt durch den Einsatz von legierten Katodenmaterialien bzw. durch das Füllgas sind bei einigen Typen (z. B. CrHK, IrHK und ZrHK) Nebenlinien zu beobachten.

5. Zusammenfassung

Das Kombinat NARVA stellt seit 1984 in ihrer Qualität verbesserte und dem Betriebsregime des AAS 3 angepaßte Hohlkatodenlampen von 23 Elementen her. Die geometrischen Abmessungen, wichtige Betriebsbedingungen und Strahlungseigenschaften wurden dargestellt. Weitere Daten können der TGL 38041 „Hohlkatodenlampen" entnommen werden. Es ist beabsichtigt, die Typenpalette der HKL schrittweise zu erweitern.

Literatur

[1] *Möhring, D.:* Die Hohlkatodenlampe – eine moderne Strahlungsquelle für die Spektralanalyse. ELEKTRIE, Berlin 29 (1975) 6, S. 330–331
[2] *Kowollik, G.:* Untersuchungen zu Emission und Absorption in Hohlkatodenlampen für die Atomabsorptionsspektrometrie bei niedrigen Entladungsströmen. Dissertation A, Humboldt-Universität Berlin, 1979
[3] *Brückner, C.; Heynisch, M.; Hofmann, D.; Pawlik, H.:* Das AAS 3 – ein neues Atom-Absorptions-Spektralphotometer des VEB Carl Zeiss Jena. Jenaer Rundschau (1983) 3, S. 114–118, 131

EA 5615

40 Jahre VEB Verlag Technik Berlin

An unsere Berliner Leser und Berlinbesucher!

Anläßlich des 40jährigen Bestehens des VEB Verlag Technik findet im Zeitraum vom **10. bis 28. Februar 1986** in der Karl-Marx-Buchhandlung, 1017 Berlin, Karl-Marx-Allee 78 bis 84, eine repräsentative Ausstellung statt unter dem Thema:

„Literaturentwicklung zwischen dem VIII. und dem XI. Parteitag der SED zur Automatisierungs- und Robotertechnik sowie zur Mikroelektronik."

Im gleichen Hause bietet eine große Verkaufsausstellung neueste und andere lieferbare Literatur des Verlages.

Der Besucher erhält außerdem umfassende Informationen über die in Kürze erscheinenden Bücher.

Aufgaben und Prinzip der Isolationskoordination in Niederspannungsanlagen[1)]

K. Koettnitz, KDT; W. Nauman, KDT; Dresden

Mitteilung aus dem Fachunterausschuß 0.3 der KDT „Koordination der Isolation"

1. Aufgabe und Zweck der Isolationskoordination

Eine den normalen betriebsbedingten und außergewöhnlich störungsbedingten Spannungsbeanspruchungen angepaßte Isolation der elektrotechnischen Anlagen und Betriebsmittel wird als Isolationskoordination (IK) bezeichnet.
Sie umfaßt 1. die Auswahl der elektrischen Isoliereigenschaften unter Berücksichtigung der Umgebungsverhältnisse und Einsatzbedingungen, die Kennzeichnung dieser Eigenschaften durch geeignete physikalische Kenngrößen, und ihre Nachprüfbarkeit durch möglichst einfache, aber aussagesichere Prüfverfahren; 2. die Ermittlung und Bestimmung der Spannungen nach Art, Formen und Häufigkeiten, die innerhalb der Anlagen in elektrischen Netzen auftreten können, ihre Wirkungen auf die Isolierungen und die Auswahl repräsentativer durch technische Prüfanlagen reproduzierbarer Spannungsformen; 3. die Untersuchung der Anordnungen und Eigenschaften von Überspannungsschutzeinrichtungen zur Begrenzung außergewöhnlicher Überspannungen auf Werte, die eine wirtschaftliche Isolierung zulassen und 4. die Festlegung einer Zuordnung der Kenngrößen der Isolierungen zu den entsprechenden Kenngrößen der Spannungsbeanspruchungen unter Beachtung deren Begrenzung und unter Berücksichtigung der gewünschten Betriebszuverlässigkeit und Sicherheit entsprechend den Einsatz- und Betriebsbedingungen des betreffenden Betriebsmittels oder der Anlage.

2. Isolationskoordination in Netzen mit Nennspannungen über 1 kV

2.1. Entwicklung

Für elektrotechnische Betriebsmittel und Anlagen in Netzen > 1 kV Nennspannung, also in Mittel- und Hochspannungsnetzen, wurde die Koordination der Isolation sowohl für Außen- als auch für Innenisolierungen bereits vor mehr als 50 Jahren einmal durch die Staffelung der Schlagweiten, zum anderen durch gleichzeitige Festlegung der Prüfwechselspannungen eingeführt [1]. Man erkannte bald, daß die Schlagweiten oder Luftdurchschlagstrecken durch die Impulsspannungsbeanspruchungen, z. B. infolge Blitzeinwirkungen oder steilen Spannungsänderungen bei Fehlervorgängen, bestimmt werden, während die Wechselspannung die Überschlagstrecken der Außenisolierungen unter Beeinflussung von Verschmutzung und Feuchtigkeit beansprucht. Daher wurden die Luftdurchschlagstrecken in Einklang mit Nennstehblitzspannungen gebracht und durch Einführung eines Schutzpegels überhöhte Freileitungsisolation zur niedrigeren Stationsisolation koordiniert, wobei die äußere zur inneren Isolation aller Betriebsmittel so gestuft wurde, daß Durchbrüche der Innenisolierung möglichst ausgeschlossen werden können. Die Erkenntnis, daß Impulsspannungen mit flachem Stirnanstieg, wie sie bei vielen Schaltvorgängen im Hochspannungsbereich auftreten, größere Luftdurchschlagstrecken verlangen, führte zur Aufnahme der Schaltspannung als Nennstehschaltspannung ab 300 kV Nennspannung und eines Schaltspannungsschutzpegels, während bei niedrigen Nennspannungen die Wechsel- und Blitzspannungspegel die Schaltspannungsbeanspruchungen mit berücksichtigen. Die derzeitige IK [2] [15] beruht nicht mehr auf der Fest-

Prof. Dr.-Ing. *Harald Koettnitz* ist emeritierter Professor der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden und Vorsitzender des FUA 0.3 „Koordination der Isolierung" der Kammer der Technik. Dr.-Ing. *Werner Naumann* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Zentralinstitut für Arbeitsschutz (ZIAS) in Dresden und Leiter der Arbeitsgruppe „Niederspannungsisolationskoordination" im FUA 0.3 der Kammer der Technik.

[1)] Einführungsvortrag zur Fachtagung: „Rationelle Prüf- und Bewertungsverfahren für Niederspannungsisolierungen" in Dresden

legung von Luftdurchschlag- oder Kriechüberschlagstrecken, sondern von Nennstehwechsel-, -schalt- und -blitzspannungen für alle Betriebsmittel gleichermaßen bei gleichzeitiger Koordinierung der Leiter Erde-, Leiter-Leiter-, Sternpunkt-Erde- und Trennstreckenisolierungen zueinander, im Sinne verschiedener Sicherheiten.

2.2. Prinzip

Das Prinzip der auf die repräsentativen Impulsspannungsbeanspruchungen koordinierten Isolation nach dem Gesetz

$$\hat{u}_{st\,min} = c\,\hat{u}_{\ddot{u}\,max} \tag{1}$$

$\hat{u}_{st\,min}$ niedrigste Stehspannung
$\hat{u}_{\ddot{u}\,max}$ höchste Überspannung
c Sicherheitsfaktor

zeigt Bild 1. Säule 1 kennzeichnet den Betriebsspannungsbereich mit der zwischen oberer und unterer Betriebsspannung U_h, U_l stochastisch schwankenden Betriebsspannung U_b und den möglichen Überspannungen $\hat{u}_{\ddot{u}}$, deren Höhe hier nicht begrenzt ist. Durch Einführung eines Überspannungsschutzes mit einer Begrenzungsspannung $\hat{u}_{begr}$ (Säule 2) wird der Schutzpegel, definiert durch die Nenn-Begrenzungsspannung

$$\hat{u}_{n\,begr} \geqq \hat{u}_{begr} \tag{2}$$

festgelegt. Die Begrenzungsspannung entspricht zumindest am Einsatzort der Überspannungsschutzeinrichtung der höchsten noch zu erwartenden Überspannung $\hat{u}_{\ddot{u}\,max}$. Gemäß dem Koordinationsgesetz Gl. (1) muß die Mindeststehspannung der Isolierung $\hat{u}_{st\,min}$ um den Sicherheitsfaktor c größer sein als $\hat{u}_{\ddot{u}\,max}$ (Säule 3). Die ausgewählte Nenn-Stehspannung erfüllt die Bedingung

$$\hat{u}_{n\,st} \geqq \hat{u}_{st\,min} \tag{3}$$

und entspricht dem Isolationspegel (Säule 4).
Das Verhältnis

$$p = \frac{\hat{u}_{n\,st}}{\hat{u}_{n\,begr}} \tag{4}$$

wird als Pegelverhältnis oder Pegelsicherheit bezeichnet; es soll gleich oder größer als der Sicherheitsfaktor c sein. Praktisch ist die Begrenzungs- und Stehspannung nicht determiniert, sondern gehorcht dem stochastischen Charakter dieser Größen entsprechend jeweils einer Verteilungsfunktion. Das tatsächliche Isoliervermögen der Isolierung wird daher in Säule 5 durch einen Stehspannungsbereich, den statistische Stehspannungen $\hat{u}_{(p)\,st}$ kennzeichnen, markiert. Der Nenn-Stehspannung wird nach den derzeitigen Empfehlungen der IEC [15] die 90-%-Stehspannung ($\hat{u}_{(90)\,st} = \hat{u}_{(p)\,st}$) zugeordnet, die einer 10-%-Durchschlagspannung entspricht. Die Schutz- und Isolationspegel werden in Abhängigkeit der Isolationsspannung U_m, die mindestens gleich oder größer als die obere Betriebsspannung des Netzes sein soll, angegeben. Sie dient in der Form $U_m\sqrt{2}/\sqrt{3}$ auch als Bezugsspannung, auf die alle Leiter-Erde-Spannungen (Überspannungen, Begrenzungs- und Stehspannung) bezogen werden[2]).

Der Wechselspannungs-Isolationspegel, der durch die Nennstehwechselspannungen gekennzeichnet ist, wird durch die Höhe der zeitweiligen betriebsfrequenten oder nahezu betriebsfrequenten Spannungsüberhöhungen multipliziert mit einem Sicherheitsfaktor, der Witterungs- und Umwelteinflüsse — wie Verschmutzung und Feuchtigkeit bei regenerierbaren Außenisolierungen — und das alterungsbedingte Absinken des Isoliervermögens bei nicht regenerierbaren Innenisolierungen in Rechnung zieht, nach dem gleichen Gesetz Gl. (1) bestimmt. Mit Hilfe der drei nach Art und Form repräsentativen, jederzeit mit Prüfanlagen reproduzierbaren Prüfspannungen: Wechselspannung, Schaltspannung und Blitzspannung ist der Nachweis des Isoliervermögens, charakterisiert durch die Nenn-Stehspannungen als definierte Werte der statistischen Stehspannungen, mit geeigneten Prüftechnologien möglich.

Eine Anzahl variabler Einflußparameter der Beanspruchung, der Isolierung und der Einsatzmodalitäten der Isolierung im Betriebsmittel, in der Anlage und im Netz, wie sie im Bild 2 angegeben sind, bestimmen die kriteriellen Parameter für die Auswahl der Bestimmungsgrößen: Nenn-Stehspannungen und Nenn-Begrenzungsspannungen der koordinierten Isolation.

Die Isolationskoordination ist wirksam, wenn durch geeignete Konstruktion und Funktion der Betriebsmittel gesichert wird, daß keine den zugeordneten Isolationspegel übersteigende Überspannungen erzeugt werden, und vom Hersteller der Nachweis des Isoliervermögens mit den geforderten Prüfspannungen erbracht wird. Aufgabe der Betreiber ist es, die Auswahlparameter der Isolation den Erfordernissen des Netzes entsprechend festzulegen und die Überspannungsbegrenzung durch betriebliche, funktionelle oder gerätetechnische Maßnahmen am Einbauort des Betriebsmittels zu gewährleisten.

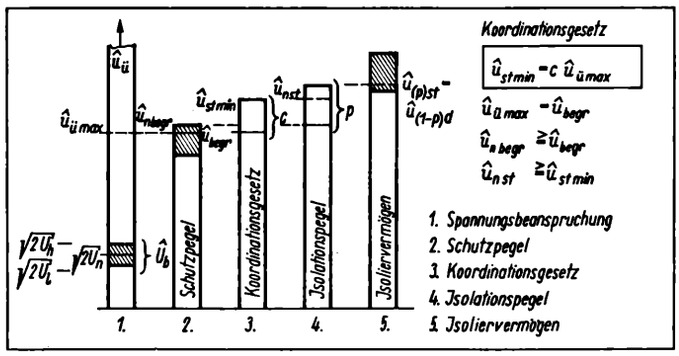


Bild 1. Das Prinzip der Isolationskoordination im Spannungsbereich > 3 kV P Wahrscheinlichkeit

3. Isolationskoordination in Netzen mit Nennspannungen unter 1 kV

3.1. Entwicklung

Für Betriebsmittel und Anlagen im Niederspannungsbereich wurde erst seit 1965 begonnen, das Prinzip der Hochspannungs-Isolationskoordination einzuführen. Grundsätzlich wurde die Isolieraufgabe

[2]) Angabe als per unit-Werte (p. u.)

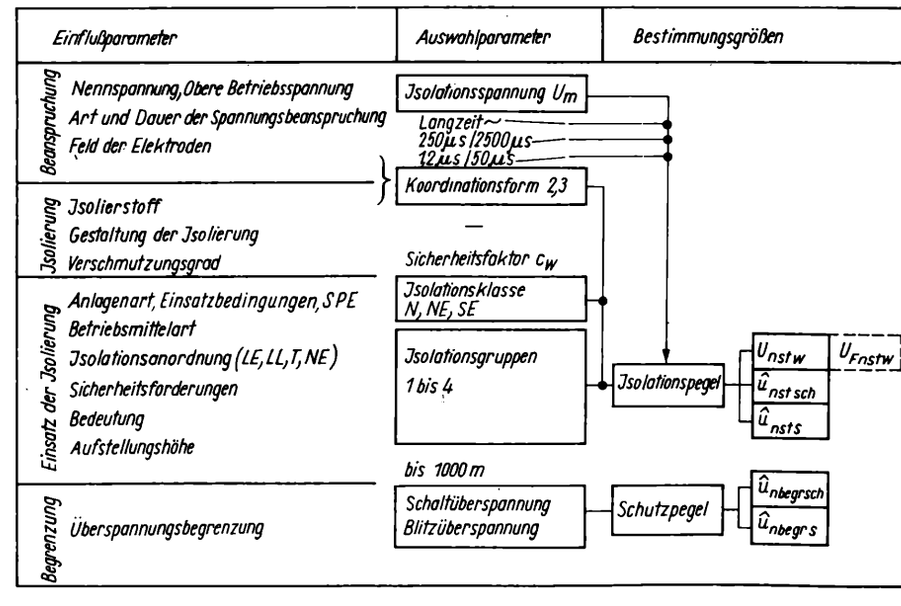


Bild 2. Einfluß- und Auswahlparameter für die Isolationskoordination im Spannungsbereich > 3 kV

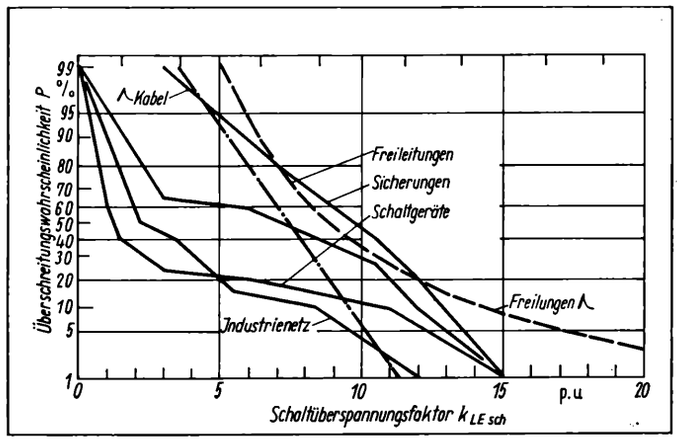


Bild 3. Überspannungsverteilungen in Niederspannungsnetzen (nach *Küttner* [6])

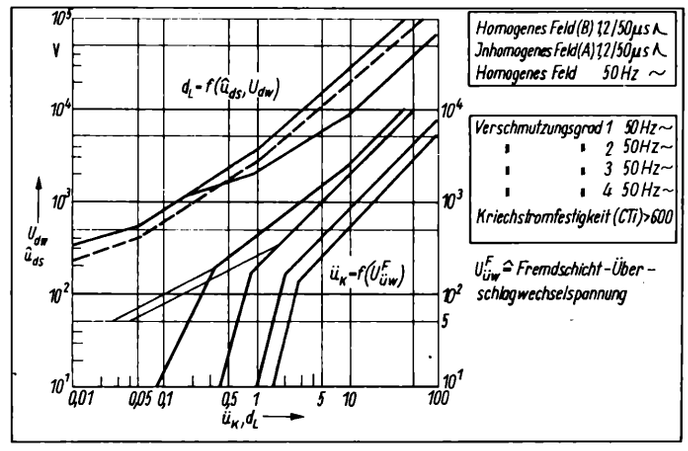


Bild 4. Luftdurchschlagstrecken d_L und Kriechüberschlagstrecken $\ddot{u}_K$ in Abhängigkeit von der Durchschlagwechselspannung U_{dw} bzw. Durchschlagblitzspannung $\hat{u}_{ds}$ und der Fremdschicht-Überschlagwechselspannung $U_{\ddot{u}w}{}^F$

in der Niederspannungstechnik durch die Vorgabe von Luftdurchschlag- und Kriechüberschlagstrecken realisiert [4]. Hierzu dienten nach *Höpp* [5] die betriebsmäßig auftretenden Überspannungen — etwa die 5fache Nennspannung —, die durch eine 1-Sekunden-Prüfwechselspannung nachgebildet und hierzu die Isolierstrecken ermittelt wurden. Kriechstrecken wurden in Abhängigkeit von der Verminderung des Isolationswiderstandes der Isolierstoffoberfläche durch Verschmutzung und der Isolierstoffart nach gesammelten Erfahrungen, also empirisch, festgelegt und systematisiert. Zum Schutz vor Blitzüberspannungen wurde der Einsatz von Überspannungsableitern empfohlen. Ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Spannungsbeanspruchung und Isolierstrecke, abhängig von der Elektrodenform, dem Elektrodenabstand und dem Isolierstoff, besteht hierbei nicht.

Mit einem 1976 in der DDR erarbeiteten Standard [21] und einer IEC-Publication [17] im Jahre 1980 wurde die Tradition für die Luftstreckenbemessung verlassen und die Blitzspannungsbeanspruchung unter Berücksichtigung einer definierten Begrenzung analog zur Verfahrensweise Gl. (1) in der Hochspannungsisoliertechnik zur Ermittlung der Stehblitzspannungen zugrunde gelegt. Die Bedeutung der Blitzspannung beruht nicht allein auf einer ursächlichen Blitzeinwirkung, sondern viele Messungen in Niederspannungsnetzen ließen erkennen, daß als Folge von Schaltungen mit Niederspannungsschaltgeräten innere Überspannungen auftreten, deren Amplitude, Steilheit und Frequenz mit Blitzüberspannungen vergleichbar, ja teilweise noch extremer zu bewerten sind [6]. Eine statistische Verteilung zeigt beispielsweise Bild 3. Die Überspannungen mit Blitzspannungscharakter setzen sich also aus Anteilen der äußeren und inneren Überspannungen zusammen, und die Maßnahmen zu ihrer Begrenzung müssen entsprechend den Netz- und Betriebsbedingungen differenziert bestimmt werden [3].

3.2. Prinzip

3.2.1. Koordination gegenüber Blitzimpulsspannungen

Das Ziel der Niederspannungs-Isolationskoordination ist das gleiche, wie das der Hochspannungs-Isolationskoordination; daher wird auch das gleiche Prinzip (siehe Abschnitt 2.1.) hinsichtlich der Impulsspannungsbeanspruchungen übernommen, d.h. mit Hilfe von Sicherheitsfaktoren c_s, die verschiedenen Isolationsgruppen oder Anlagenklassen zugeordnet werden (Tafel 1), werden ausgehend von höchstzulässigen Blitzimpulsüberspannungen Mindest-Stehblitzspannungen errechnet und schließlich eine Gruppe von Nenn-Stehblitzspannungen nach Gl. (3) festgelegt. In Abhängigkeit von einer Auswahlspannung U_1, die jeweils für einen Netzspannungsbereich maßgebend ist, liegen damit Vorzugswerte der Nenn-Stehblitzspannungen vor, nach denen die Isolation der Betriebsmittel, Installationen und Anlagen auszulegen ist.

Die Anlagenklassen — nach IEC[3]) [17] sind es zur Zeit 4 — werden den Ansprüchen nach Zuverlässigkeit, den Forderungen nach Sicherheit und den zu erwartenden Höchstwerten von Blitzüberspannungen und Schaltüberspannungen bzw. der Schutzwirkung — Begrenzungswirkung — der eingesetzten Überspannungsschutzeinrichtungen entsprechend ausgewählt. Die Nenn-Stehblitzspannung der in einer Anlage eingesetzten Betriebsmittel muß gleich oder

[3]) Nach IEC werden „Überspannungskategorien" (installation category) definiert

Tafel 1. Sicherheitsfaktoren für Stehblitzspannungen bei Stufung der Isolationsgruppen oder Anlagenklassen nach [21]

Anlagenklasse	Isolationsgruppe	Sicherheitsfaktor c_s Schutzwirkung I	Schutzwirkung II
0	0	1	
1	I	1,3 bis 1,5	
2	II		1,3 bis 1,5
3	III		1,9 bis 2,0
4	IV		2,25 bis 2,4
	V		2,75 bis 3,0

Tafel 2. Einflußfaktoren auf das Blitzspannungsisoliervermögen

Einflußfaktor	Luftdurchschlagstrecke d_L	Kriechüberschlagstrecke $\ddot{u}_K$	Standardisierter Wert nach [17]
Elektrodenabstand	×	×	–
Homogenitätsgrad (Elektrodenform, Feld)	×	×	B: $\eta = 0{,}9 \cdots 0{,}95$ nahezu homogenes Feld A: $\eta \ll 1$ extrem inhomogenes Feld
Verschmutzungsgrad	×	×	1 bis 4 nach [17]
Aufstellungshöhe	×	×	2000 m entspricht $8 \cdot 10^4$ Pa
Form der Blitzimpulsspannung, Polarität	×		1,2 µs/50 µs positiv und negativ

größer sein als der für die betreffende Anlagenklasse bestimmte Wert. Nach [21] werden hierfür die Betriebsmittel in 6 Isolationsgruppen eingeordnet. Schließlich wird auch eine Koordination des Isoliervermögens verschiedener Isolierungen innerhalb eines Betriebsmittels (Gerätes) und der Schnittstellen (Trennstrecken) zwischen verschiedenen Anlagenklassen durch Zuordnung zu verschiedenen Isolationsgruppen im Sinne gestaffelter Nenn-Stehblitzspannungen möglich.

Den Nenn-Stehblitzspannungen kommt, abweichend von der Vorgehensweise in der Hochspannungs-IK, in der Niederspannungs-IK die außerordentliche Aufgabe und Bedeutung zu, dem Konstrukteur durch Bestimmung der Luftdurchschlagstrecken Bemessungsunterlagen zu geben. Hierzu wurden eine große Anzahl programmierter Untersuchungen zur Abhängigkeit der Luftdurchschlagstrecke d_L von der Blitzimpulsspannung bei verschiedenen Steh- bzw. Durchschlagwahrscheinlichkeiten und den wichtigsten Einflußfaktoren (Bild 4 und Tafel 2) durchgeführt [6] [7], deren Ergebnisse in Korrespondenztabellen bzw. Funktionsverläufen vorliegen und in verbindlichen Standards aufgenommen wurden [4] [17] [22]. Sie sind aus einer Regressionsanalyse der Abhängigkeit der aus den empirischen Verhaltensfunktionen gewonnenen statistischen Stehblitzspannungen vom Elektrodenabstand errechnet. Bild 5 verdeutlicht, daß für Luftdurchschlagstrecken $>0{,}5$ mm das inhomogene Feld die kleineren Werte der Durchschlagblitzspannung verursacht. Da inhomogene Felder in der Niederspannungstechnik überwiegen, ist die Prüfung mit Blitzimpulsspannung besonders geeignet, um die Mindestluftdurchschlagstrecken nachzuweisen.

3.2.2. Koordination gegenüber betriebsfrequenten Wechselspannungen

Durch die Koordination der Isolation bei betriebsfrequenter Wechselspannung soll erreicht werden, daß die Isolierung eine definierte

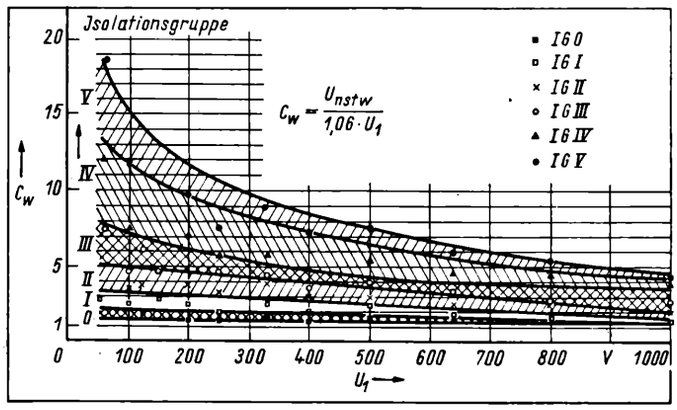


Bild 5. Wechselspannungssicherheitsfaktor c_w als Funktion der Auswahlspannung U_1
Parameter: Isolationsgruppe (IG)
Anmerkung: Diskrete Werte für Nennstehwechselspannung nach Standard

Wechselspannungsfestigkeit erhält, einmal gegenüber der dauernd wirkenden Betriebsspannung unter Berücksichtigung zeitweiliger Spannungsüberhöhungen zum anderen gegenüber Schaltspannungen niedriger Frequenz, die nicht Blitzspannungen zugerechnet werden können. Auch hier muß ein Sicherheitsfaktor c_w die das Isoliervermögen beeinträchtigenden Faktoren, wie Verschmutzung, Klima, Alterung, berücksichtigen und den Abstand zwischen Wechselspannungsbeanspruchung und Stehwechselspannung bestimmen, womit Gl. (1) angewendet wird. Eine Begrenzung der Überspannungen durch Überspannungsschutzeinrichtungen ist nur durch Stabilisierungseinrichtungen möglich, allenfalls für Schaltüberspannungen mit Überspannungsableitern, so daß betrieblich überspannungsbegrenzende Maßnahmen wirksam werden müssen. Die Sicherheitsfaktoren werden derzeitig entsprechend Bild 5 empfohlen.

Die für den Konstrukteur wichtigen Abhängigkeiten der Isolierstrecken von der Stehwechselspannung — oder umgekehrt — liegen sowohl für die Luftdurchschlagstrecke in Abhängigkeit der in der Tafel 2 genannten Einflußfaktoren als auch für die Kriechüberschlagstrecken nach zahlreichen Untersuchungen vor, zum Beispiel in [6] [8] [9], können aber auf Grund der Vielfalt der Isolieranordnungen und Einflußvariationen nicht als erschöpfend gelten. Es ist jedoch erwiesen, daß bei Wechselspannung, gleichem Elektrodenabstand und gleichen Einflußbedingungen der Kriechüberschlag die Priorität vor dem Luftdurchschlag besitzt (Bild 5). Deshalb wird die Kriechweglänge mit den bestimmenden Einflußfaktoren Klimat, Betauung, Verschmutzungsgrad (1 bis 4), Isolierstofftyp (Kriechstromfestigkeit[4])), Gestalt der Isolierstoffoberfläche (Formfaktor) als Funktion der Stehwechselspannung oder Überschlagwechselspannung für verschiedene Eintrittswahrscheinlichkeiten dargestellt oder in Korrespondenztabellen angegeben [6] [7].

[4]) In IEC [16] als „Comparative tracking index" (CTI) bezeichnet. In TGL [23] durch „B-Werte" gekennzeichnet

Nach IEC [18] [19] wird allerdings dieser Weg für die Bemessung der Kriechstrecken nicht eingeschlagen; statt dessen wird die Kriechstrecke von einer Auswahlspannung U_1, die von der dauernd zulässigen Netzbetriebsspannung abhängt, abgeleitet und dabei die Kriechstromfestigkeit des Isolierstoffes und der zu erwartende Verschmutzungsgrad als Einflußgröße berücksichtigt (Bild 6). Die Auswahlspannung entspricht mithin einer Fremdschicht-Stehwechselspannung bzw. Fremdschicht-Überschlagwechselspannung $U_{\ddot{u}w}^F$ einer beeinträchtigten Isolierstoffgrenzfläche (Bild 4). Als Bedingung wird festgelegt, daß eine Kriechstrecke nicht kleiner sein kann, als die zugehörige Luftstrecke, die aus der Stehblitzspannung bestimmt wurde, so daß die kleinste mögliche Kriechstrecke gleich der Luftstrecke ist; es besteht jedoch keine physikalische Beziehung zwischen beiden. Der Nachweis der richtig bemessenen Kriechstrecke wird durch deren Längenmessung erbracht. Es ist aber offensichtlich, daß die einheitliche Stufung der Isolierungen gemäß den Isolationsgruppen oder Anlagenklassen nicht mehr gewährleistet ist. Wird dagegen den Isolationsgruppen eine Nenn-Stehwechselspannung zugeordnet [21], ist sowohl die sicherheits- und zuverlässigkeitsabhängige Stufung der Isolation innerhalb der Anlagen und Betriebsmittel gewährleistet als auch der Nachweis des Isoliervermögens mit einer definierten Prüfwechselspannung oder Prüfgleichspannung in Analogie zur Blitzspannung möglich.

4. Überspannungsbegrenzung als Voraussetzung der Isolationskoordination

Die IK nach Gl. (1) setzt voraus, daß unerwünschte Über- oder Durchschläge der Isolierungen nur dann nicht eintreten, wenn die Spannungsbeanspruchungen einen oberen Grenzwert überschreitet. Daher ist eine Überspannungsbegrenzung dann notwendig, wenn die zu erwartenden Überspannungen größer als der festgelegte Grenzwert sind. Dieser Grenzwert kann die Nenn-Stehspannung sein, doch ist es zweckmäßig, bei einlaufenden Impulswanderwellen mit steiler Wellenstirn, wie sie von Blitzeinschlägen oder Rückzündungen in Schaltstrecken erzeugt werden, die Reflexions- und Brechungsvorgänge zwischen dem Einbauort des Überspannungsschutzgerätes und den zu schützenden Betriebsmitteln durch den Sicherheitsfaktor zu berücksichtigen. Dann wird die Nenn-Begrenzungsspannung die höchste zu erwartende Überspannung sein. Wird das Überspannungsschutzgerät *unmittelbar* an den Klemmen des zu schützenden Betriebsmittels angeschaltet, ist auch die Spannungsbeanspruchung nicht höher als die Begrenzungsspannung, und in diesem Falle könnte sie mit 0,9 $\hat{u}_{nst}$ gewählt werden, wobei die statistische Streuung der Begrenzungs- und Stehspannung berücksichtigt wird.

Die Höhe der Begrenzungsspannung im Vergleich zur Stehspannung bestimmt den Schutzbereich und die Schutzwirkung. Eine niedrige Begrenzungsspannung kann allerdings nur bei niedrigem Arbeitsvermögen des Ableiters erreicht werden, was beispielsweise durch den sogenannten *Feinschutz* mit Schutzbausteinen in Schutzbeschaltungen verwirklicht wird, während der *Grobschutz* durch konventionelle Überspannungsableiter oder gegebenenfalls Schutzfunkenstrecken mit höherer Begrenzungsspannung erfolgt. Blitz-

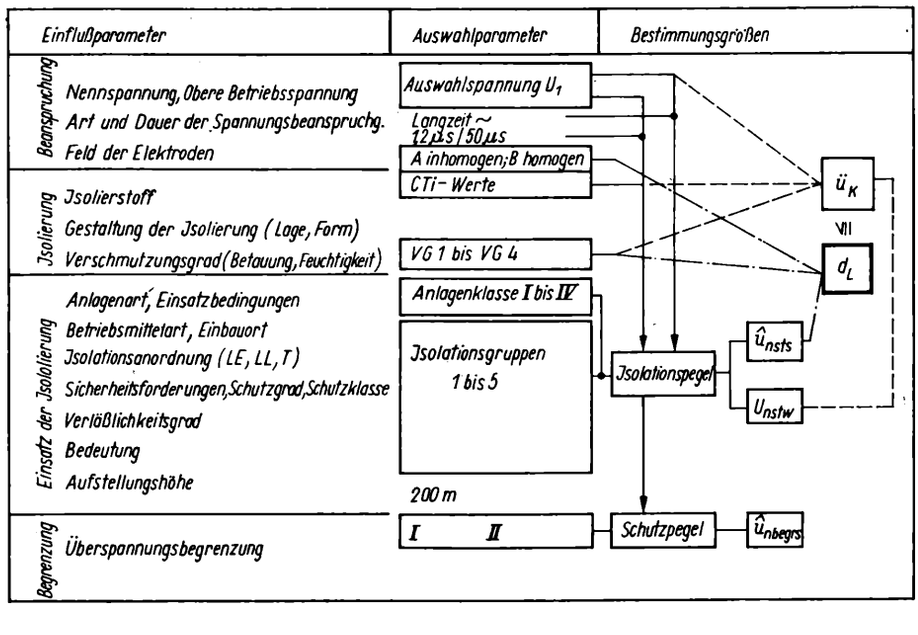


Bild 6. Einfluß- und Auswahlparameter für die Isolationskoordination im Spannungsbereich bis 1000 V
LE Leiter-Erde
LL Leiter-Leiter
T Trennstrecke

spannungsungefährdete Niederspannungsanlagen sind auch in verkabelten Netzen anzunehmen, denn bereits indirekte Blitzeinschläge verursachen eingekoppelte Überspannungen, die die Stehblitzspannung der Niederspannungsanlagen und -Betriebsmittel, und in weit größerem Maße der Betriebsmittel mit elektronischen Bauelementen übersteigt [3] [11].
Die Begrenzung von Überspannungen im betriebsfrequenten Bereich, beispielsweise durch Erdunsymmetrien, Resonanzen oder dynamischen Spannungsvorgängen — als zeitweilige Spannungsüberhöhungen bezeichnet — ist mit Überspannungsableitern nicht möglich, da diese energetisch überfordert werden. Hier können nur funktionelle Einrichtungen, z.B. Dämpfungsschaltungen oder Regeleinrichtungen und selektive Fehlerschutzeinrichtungen eine Begrenzung bringen, die aber häufig zeitlich verzögert wirken, so daß ein Überschlag durch Alterung oder Verschmutzung geschwächter Isolierungen nicht verhindert werden kann. Durch solche Vorgänge gefährdete Anlagen sollten durch Wahl einer höheren Isolationsgruppe eine angemessene höhere Nenn-Stehwechselspannung aufweisen.

5. Nachweis des Isoliervermögens

Der Nachweis des koordinierten Isoliervermögens erfolgt mit Prüfspannungen, deren standardisierte Form den repräsentativen Spannungsbeanspruchungen — sinusförmige Wechselspannung 50 Hz und Blitzimpulsspannung 1,2 µs/50 µs — entspricht, und deren Höhe gleich der Nenn-Stehwechselspannung und der Nenn-Stehblitzspannung der betreffenden Anlage oder des Betriebsmittels in Abhängigkeit von der Isolationsgruppe und Auswahlspannung ist. Hält die Isolierung der definierten Spannungsbeanspruchung bei Prüfbedingungen, die in dem Koordinationsstandard (z.B. [21]) und im einzelnen in den erzeugnisspezifischen Standards festgelegt sind, kann dies als sicheres Kriterium für ein ausreichendes Isoliervermögen gewertet werden.
Die Prüfungen werden als Typ-, Stück-, Stichproben-, Inbetriebsetzungs- oder Instandhaltungsprüfungen durchgeführt; immer ist es die Aufgabe, die Fehlerfreiheit des jeweiligen Erzeugnisses zu bescheinigen.
Der Vorteil der energiearmen Blitzspannungsprüfung in der Niederspannungstechnik hat zur Entwicklung handlicher, sicherer, meß- und bedienungsfreundlicher Blitzspannungsprüfgeneratoren geführt [13], deren Anwendung künftig in der Stück- und Inbetriebsetzungsprüfung bevorzugt erfolgen und bisherige Prüfverfahren und -geräte geringeren Aussagevermögens verdrängen wird.

6. Methoden der Isolationskoordination

Das derzeitig in der Niederspannungs-Isolationskoordination angewendete einfache, hier beschriebene Koordinationsverfahren wird als *konventionelle* oder *empirische* Methode bezeichnet: Die Isolation des Gerätes oder Geräteteilelementes wird unter Bezug auf den Schutzpegel des Überspannungsableiters mit Hilfe eines empirischen Sicherheitsfaktors bestimmt, der die verschiedenen Einflußfaktoren, z.B. Überspannungsableitereinsatz und Zuverlässigkeitsanspruch, berücksichtigt.
Es ist anzustreben, daß die Niederspannungs-Isolationskoordination in Richtung auf die statistischen Methoden entwickelt wird, um dem stochastischen Verhalten der Umgebungsbedingungen, der Spannungsbeanspruchungen, des Isoliervermögens und der Begrenzungseinrichtungen unter Einbeziehung eines Verläßlichkeitsgrades und wirtschaftlicher Aspekte immer besser Rechnung zu tragen [14].

7. Zusammenfassung

Die Koordination der Isolation dient der Anpassung der Isolierung elektrotechnischer Betriebsmittel und Anlagen an die Spannungsbeanspruchungen, die während des ungestörten Dauerbetriebes oder anläßlich äußerer oder innerer Überspannungen auftreten. Es soll damit eine hohe Zuverlässigkeit und Sicherheit der Betriebsmittel und des Netzbetriebes gewährleistet werden. Eine Begrenzung der Überspannungen wird vorgenommen, wenn der Isolieraufwand wirtschaftlich und materiell nicht mehr angemessen ist.
Während die Isolationskoordination für Nennspannungen > 1 kV konsequent schon seit 50 Jahren eingeführt ist, wird sie für den Niederspannungsbereich, also für Nennspannungen bis 1000 V erst seit etwa einem Jahrzehnt zur Anwendung empfohlen und zunächst für Impulsspannungen analog zur Hochspannung bemessen, und hieraus die Luftdurchschlagstrecken mit Hilfe von Korrespondenzbeziehungen abgeleitet. Die Koordination gegenüber betriebsfrequenten Wechselspannungen erfolgt noch nicht allein nach dem Koordinationsgesetz und dem Nachweis des Stehvermögens, sondern parallel durch die Festlegung der Kriechüberschlagstrecke mit Hilfe von Korrespondenztabellen und dem Nachweis der Längenmessung.
Die Stehblitzspannung wird mit geeigneten, heute allgemein verfügbaren Impulsspannungsprüfgeneratoren ermittelt, und ist eindeutig zur Beurteilung einer ausreichenden Luftdurchschlagstrecke. Sie hat den Vorzug einer vorbeschädigungsarmen Prüfung, die sich auch für Wiederholungs- und Vor-Ort-Prüfungen bewährt hat. Die Wechselspannungsprüfung dient bei der Typprüfung zum Nachweis einer ausreichenden Kriechüberschlagstrecke, die gleich oder größer als die Luftdurchschlagstrecke sein muß.
Die derzeitig empirische Isolationskoordination in der Niederspannungstechnik wird sich zur semistatistischen und in weiterer Zukunft zur vollstatistischen Isolationskoordination entwickeln.

Literatur

[1] *Koettnitz, H.:* Entwicklung der Überspannungsbegrenzung in Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE, Berlin 31 (1977) 2, S. 72 – 78
[2] *Koettnitz, H.:* Wesentliche Merkmale der internationalen Empfehlungen zur Isolationskoordination im Hinblick auf die Neubearbeitung des Standards TGL 20445. ELEKTRIE, Berlin 28 (1974) 4, S. 197 – 200
[3] *Küttner, H.; Naumann, W.:* Maßnahmen des inneren Blitzschutzes. etz 104 (1983) 10, S. 472 – 477
[4] *Focke, P.:* Wahl der Luft- und Kriechstrecken bei Anwendung von TGL 20445/03. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 6, S. 312 – 316
[5] *Höpp, W.:* Kriech- und Luftstrecken an Niederspannungsschaltgeräten. ETZ 63 (1942) 7/8, S. 82 – 85
[6] *Küttner, H.:* Spannungsbeanspruchung und Dimensionierung von Niederspannungsisolierungen. Dissertation TU Dresden, 1979
[7] *Küttner, H.:* Bemessung der Luftdurchschlag- und Kriechüberschlagstrecken von Niederspannungsisolierungen für Blitzspannung. ELEKTRIE, Berlin (1981) 8, S. 412 – 416
[8] *Küttner, H.:* Wechselspannungsisoliervermögen der Niederspannungsisolierungen. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 1, S. 33 – 36 und S. 84 – 85
[9] *v. Schau, P.:* Forschungsgemeinschaft „Kriechstrecken". etz 102 (1981) 6, S 290 – 293
[10] *Küttner, H ; Naumann, W.:* Isolationskoordination in der Niederspannungstechnik. etz 105 (1984) 10, S. 502 – 504
[11] *Koettnitz, H.; Naumann, W.:* Isolationskoordination und Blitzschutz. ELEKTRIE, Berlin 31 (1977) 4, S. 201 – 203
[12] *Hauschild, W.; Mosch, W.:* Statistik für Elektrotechniker. Berlin: VEB Verlag Technik 1984
[13] *Küttner, H.:* Nachweis des Isoliervermögens mit den Stoßspannungsisolationsprüfgeräten. SIP 010 und TIP 006. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 11, S. 596 bis 600
[14] *Bauer, H.; Koettnitz, H.:* Grundlagen, Anwendungsbeispiele und Weiterführung der Arbeiten zur Isolationskoordination für Elektroenergieanlagen über 1 kV. Wiss. techn. Mitt. IPH, Berlin (1977) 18, S. 17 – 23
[15] IEC: Insulation co-ordination. pt. I: IEC-Publication 71-1, Genf: 6. August 1976
[16] IEC: Recommended methods for determining the comparative tracking index of solid insulating materials under moist sonditions. IEC Publication 112, Genf: 2. August 1979
[17] IEC: Insulation co-ordination within low voltage systems including clearance and creepage distances for equipment IEC-Publication 664, Genf: 1. August 1980
[18] IEC: First supplement to publication 664 (1980) Insulation co-ordination within low voltage systems including clearance and creepage distances for equipment. IEC-Publication 664 A, Genf: 1. August 1981
[19] VDE 0109: Isolationskoordination in Niederspannungsanlagen einschließlich der Luft- und Kriechstrecken für Betriebsmittel zugleich DIN 57109. Dezember 1983.
[20] TGL 20445: Isolationskoordination, Betriebsmittel und Anlagen mit Wechselspannung über 1 kV. Technische Forderungen. DDR-Standard TGL20445/02. November 1975
[21] TGL 20445: Isolationskoordination; Betriebsmittel und Anlagen mit Wechselspannungen bis 1000 V. DDR-Standard TGL 20445/03, September 1976 und Entwurf Oktober 1984
[22] TGL 16559: Kriech- und Luftstrecken. DDR-Standard TGL 16559, Dezember 1976 und Änderungsblatt vom 01. 04. 1983
[23] TGL 200-0018: Prüfung von Isolierstoffen, Bestimmung der Kriechstromfestigkeit. DDR-Standard TGL 200-0018. Januar 1964
[24] *Naumann, W.; Lange, P.:* Richtlinie zur Einführung der Blitzspannungsprüfung. Beiträge für die Praxis. Heft 45. Dresden: Eigenverlag des Zentralinstitut für Arbeitsschutz (ZIAS) 1984

EA 5532

Potentialgetrennte Meßwerterfassung der Stromstärke in einem weiten Frequenzbereich

J. Ermisch, KDT; N. Hertwig, KDT; Dresden

Mitteilung aus der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

In der elektrischen Automatisierungstechnik wächst zunehmend das Bedürfnis, über Meßwertumformer zu verfügen, die die vorteilhaften Eigenschaften eines induktionsfreien Shunts mit denen der in der Wechselstromtechnik bewährten Stromwandlern vereinen. Benötigt werden Stromwandler, die sowohl Gleichströme, als auch zeitlich sehr schnell veränderliche Ströme bei gleichzeitiger Potentialtrennung zwischen Betriebs- und Meßstromkreis für den Einsatz von Systemen der Meß-, Steuer- und Schutztechnik hinreichend genau abbilden.

Aber auch in Gleichstromanlagen mit sehr hohen Stromstärken, z. B. Elektrolyseanlagen, erfüllen herkömmliche Gleichstromwandler z. T. die an sie gestellten Forderungen nicht optimal. Die gegenwärtig in diesen Anlagen zum Einsatz kommenden KRÄMER-Wandler sind aufgrund des bei ihnen zur Anwendung kommenden Wirkprinzips in der Genauigkeit der Meßgrößenübertragung relativ empfindlich gegen von außen einwirkende magnetische Felder. Besonders in kleinräumigen Schaltanlagen beeinflussen die Magnetfelder benachbarter Stromschienen die Meßgenauigkeit erheblich.

Im folgenden werden Möglichkeiten zur potentialgetrennten Messung von Gleich-, Misch- und Wechselströmen aufgezeigt und gegenübergestellt.

1. Trennverstärker

Eine oft praktizierte Methode, beliebige Ströme oder Spannungen potentialgetrennt zu messen, ist die Verwendung von sogenannten Potentialtrennverstärkern [1] [2]. Das Prinzip ist im Bild 1 dargestellt. Über einen Meßshunt *R1* wird der Strom in eine äquivalente Spannung umgeformt.

Nach Modulation des Meßwertes und der Meßwertübertragung mittels Optokoppler oder Impulstransformator wird eine Demodulation auf Erdpotential vorgenommen und der Meßwert entsprechend verstärkt. Das Verfahren weist folgende typischen Eigenschaften auf:

a) Die Güte des Meßverfahrens wird primär durch die Eigenschaften des Shunts bestimmt. Die Übertragung hoher Frequenzen erfordert extrem induktivitätsarme Shunts, die vor allem für hohe Stromstärken schwer realisierbar sind. Weitere Probleme bereiten die quadratisch mit der Stromstärke wachsende Verlustleistung im Shunt und dessen Wärmeentwicklung sowie die erforderliche Schienentrennung beim Einbau des Shunts.

b) Außer von der Güte des Shunts hängt die Genauigkeit von den im off-line-Betrieb arbeitenden elektronischen Bauelementen ab.

c) Die Baugruppen auf Potential benötigen Hilfsenergie, die von einer auf Erdpotential befindlichen Quelle potentialgetrennt bereitgestellt werden muß.

d) Die obere Grenzfrequenz des Trennverstärkers wird entscheidend durch die technisch realisierbare Trägerfrequenz beeinflußt; hier sind meist eindeutige Grenzen durch die physikalischen Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Bauelemente gesetzt. Auf Grund dieser Eigenschaft ist die breite Nutzung sowie die Produzierbarkeit derartiger Trennverstärker eingeschränkt und dürfte sich im wesentlichen nur auf den Einsatz in leistungsarmen Anlagen und Laboratorien beschränken.

2. Einsatz von Zweiwicklungsanordnungen

Die in der Wechselstrommeßtechnik eingesetzten Stromwandler herkömmlicher Bauart sind zur Abbildung stationärer Gleichströme auf Grund des zur Anwendung kommenden Transformatorprinzips grundsätzlich ungeeignet. Für die Abbildung transienter Gleichglieder sind sie lediglich unter Hinnahme erheblicher Genauigkeitseinbußen bedingt einsetzbar.

Die Nutzung einer Zweiwicklungsanordnung für die Übertragung von gleichgliedbehafteten Strömen erfordert die zusätzliche sekundärseitige Einspeisung einer dynamisch geregelten Hilfsspannung, die im Zeitverlauf betragsmäßig jeweils der Summe der sekundärseitigen Gleichspannungsabfälle an den ohmschen Widerständen des Sekundärkreises, herrührend von dem mit dem Windungsverhältnis transformierten Gleichanteil des Primärstromes entsprechen muß. Auf diese Weise wird gewährleistet, daß durch den Primärstrom die magnetisierende Spannung *Uo* unabhängig von den momentan gegebenen Aussteuerungsverhältnissen durch den Primärstrom als reine Wechselspannung gewonnen wird. Damit ist gesichert, daß der Kern des Wandlers zu keinem Zeitpunkt des Betriebes auf Grund eines Gleichanteiles der magnetisierenden Spannung *Uo* gesättigt ist. Mit Einschränkungen wird diese Bedingung von den Halbkernen des bereits genannten KRÄMER-Wandlers erfüllt, aber nur während eines Teils der Periodendauer der als Wechselspannung an der Sekundärwicklung angelegten ungeregelten Hilfsspannung. Als wesentlicher Nachteil einer derartigen Anordnung wird ein lückender Sekundärstrom erhalten, der zudem keine Information über die Stromrichtung enthält.

Die Abbildung von Wechselströmen ist auf Grund der systembedingt erforderlichen Gleichrichtung des Sekundärstromes grundsätzlich nicht gegeben.

Die aufgeführten Nachteile können bei Einsatz einer, in Abhängigkeit vom Magnetisierungszustand des Meßkernes geregelten Hilfsspannung vermieden werden. Zur Regelung der genannten Hilfsspannung ist die Erfassung des Magnetisierungszustandes des Meßkernes der Zweiwicklungsanordnung erforderlich. Dies führt dazu, daß die Magnetisierungskennlinie stets nur im Bereich unterhalb der Sättigung ausgesteuert ist.

2.1. Stromwandler mit im Mittelwert selbstregelndem Durchflutungsgleichgewicht

Kennzeichnend für einen derartigen Wandler ist die Überlagerung einer Zusatzmagnetisierung zur Primärdurchflutung, aufgeprägt durch eine zusätzliche Hilfsgleichspannung, die bei Erreichen eines bestimmten Betrages des Momentanwertes des Hauptflusses umgepolt werden muß. Voraussetzung ist das Vorhandensein eines geeigneten Indikators im oder am Meßkern [3] [4] [5].

Der Nachteil dieses Prinzips ist, daß in den Meßkreis induktiv eine Störgröße eingekoppelt wird, welche durch die Ummagnetisierung des Kernes verursacht wird. Auch im Sekundärkreis ist dem Meßwert diese Störgröße überlagert. Die sekundäre Hilfsspannung enthält einen Gleichanteil, der gleich der Summe der sekundären Gleichspannungsabfälle ist. Unter der Voraussetzung, daß die sekun-

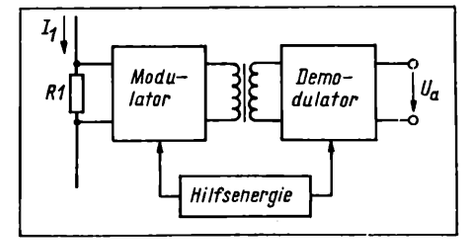


Bild 1
Potentialtrennverstärker – Prinzipschaltbild

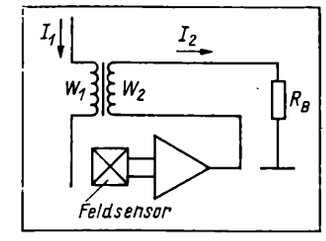


Bild 2
Nullflußwandler – Prinzipschaltbild

Dr. sc. techn. *Jochen Ermisch* ist wissenschaftlicher Oberassistent, Dipl.-Ing. *Norbert Hertwig* ist wissenschaftlicher Assistent am WB Elektrische Maschinen, Lehrstuhl für Transformatoren und Meßwandler, der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden.

[1]) Die Arbeiten wurden im Auftrage der Kooperationsgemeinschaft ELTRA durchgeführt.

Die Autoren danken dem VEB Transformatoren und Röntgenwerk (TuR) „Hermann Matern" Dresden für die Unterstützung bei der Zusammenstellung der Daten des Allfrequenzstromwandlers.

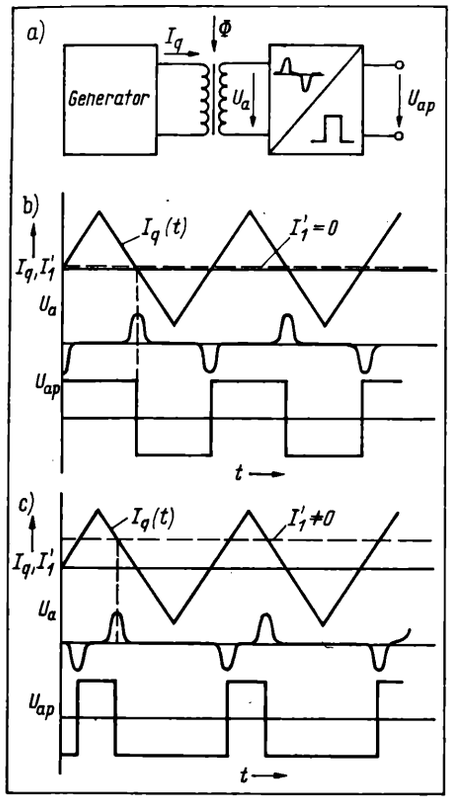


Bild 3
Magnetischer Modulator
a) Prinzipschaltbild für die Ausgestaltung als Pulsdauer- bzw. Oberwellenmodulator
b) Spannungs- und Stromverläufe für $I_1 = 0$ A
c) Spannungs- und Stromverläufe für $I_1 \neq 0$ A

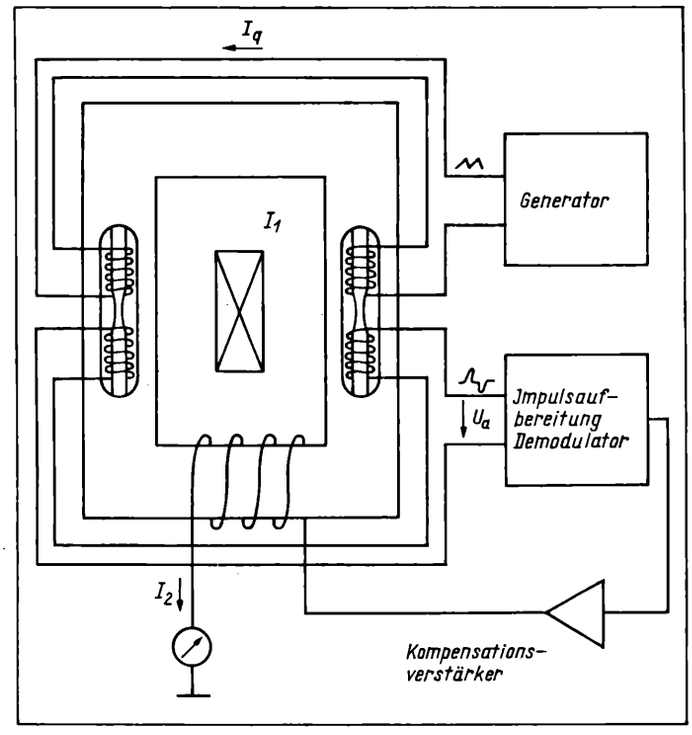


Bild 4. Allfrequenzstromwandler mit in den Meßkern integrierten magnetischen Modulatoren (schematisiert)

däre bipolare Hilfsspannungsquelle eine Gleichspannung liefert, wird die sekundäre Hilfsspannung pulsdauermoduliert erhalten und kann zur Darstellung des Meßwertes herangezogen werden. Problematisch ist auch hier die Übertragung höherer Frequenzen.

2.2. Nullflußwandler

Eine weitere Möglichkeit zur Übertragung von Gleichströmen, die sich aus dem im Abschnitt 2.1. beschriebenen Prinzip ableitet, wenn die Aussteuerung der Magnetisierungskennlinie gegen Null gehend reduziert wird, bietet der sogenannte Nullflußwandler. Erstmalig wurde dieses Prinzip in dem Patent [6] aus dem Jahre 1947 erwähnt; allerdings konzipiert für die Messung reiner Wechselströme. Im Bild 2 ist der grundlegende Aufbau eines Nullflußwandlers gezeigt. An einen Feldsensor ist ein Operationsverstärker angeschaltet, der mit seinem Ausgang an die Sekundärwicklung des Wandlers angeschlossen ist und als gesteuerte Stromquelle wirkt, die quasi momentanwertgetreu die Durchflutung auf einen Wert nahe Null eingeregelt. In [6] ist der Feldsensor eine dritte Wicklung, die zur Erfassung des Magnetisierungszustandes dient. Wird anstelle dieser Wicklung ein Sensor verwendet, der auch Gleichfelder detektieren kann, so ist prinzipiell die Übertragung von Strömen beliebiger Frequenz möglich. Geeignet hierfür sind Hallsonden, wie sie bei dem als TRANSFO-SHUNT bezeichneten Gleichstromwandler eingesetzt sind [7].

Als Option zu galvanomagnetischen Bauelementen bietet sich der Einsatz magnetischer Modulatoren an.

Die Wirkungsweise eines magnetischen Modulators soll anhand von Bild 3 erläutert werden:

Der Kern eines magnetischen Modulators, der beispielsweise aus einem Stück hochpermeablen Magnetdraht besteht, ist mit zwei Wicklungen versehen. Eine Wicklung wird mittels eines Generators so ausgesteuert, daß die gesamte Magnetisierungskennlinie des Sensorkerns durchfahren wird. An der zweiten Wicklung stehen dadurch im Bereich der Nulldurchgänge der Induktion schmale Impulse zur Verfügung, die sich sehr einfach in eine Puls-Dauer-Modulation umwandeln lassen. Das Spektrum der Puls-Dauer-Modulation weist im Falle eines nicht von einem äußeren Feld ausgesteuerten Sensors kein feldproportionales Gleichglied auf, andernfalls ist ein Gleichglied entsprechend der Stärke und der Richtung des äußeren Feldes vorhanden. Nach Demodulation kann die Ausgangsspannung des Demodulators an den Operationsverstärker des Nullflußwandlers angelegt werden.

Alle nach diesem Prinzip betriebenen Meßwandler benutzen den gesamten Magnetkreis als magnetischen Modulator [8] [9]. Der Bedarf an Magnetisierungsleistung für diese Anordnungen ist beachtlich. Außerdem wird eine erhebliche Beeinflussung des Meßkreises wirksam, es sei denn, daß ein weiterer Magnetkreis gleichen Volumens (der somit auch einem ebenso hohen Magnetisierungsbedarf erfordert), aber inverser Aussteuerung die Überlagerung kompensiert. Prinzipbedingt kann auch bei dieser Ausführung auf Grund des umzumagnetisierenden Kernvolumens keine sehr hohe obere Grenzfrequenz realisiert werden.

Kennzeichen aller Nullflußwandler ist deren hohe Genauigkeit, die Langzeitstabilität des Übersetzungsverhältnisses (festgelegt durch das Windungszahlverhältnis von Primär- und Sekundärwicklung) sowie eine weitgehende Unbeeinflußbarkeit der Eigenschaften von Einflüssen der Hilfsenergie, der Bauelementetoleranzen u. a. m.

2.3. Gleichstromwandler mit magnetischem Modulator

Der Bedarf an Hilfsenergie zur Ummagnetisierung des Magnetkreises läßt sich drastisch reduzieren, wenn nicht der gesamte Kern, sondern lediglich ein Volumenelement des Magnetkreises in Form einer eingefügten Sonde ummagnetisiert wird.

Bild 4 zeigt den Aufbau eines derartigen Allfrequenzstromwandlers. Im Kern eines konventionellen Stromwandlers sind Querschnittsschwächungen, sogenannte Isthmen, zur Aufnahme winziger Modulatoren, bestehend aus Magnetkern, Modulations- und Indikatorwicklung, eingefügt. Der Magnetkern besteht aus einem wenige µm-starkem Blechstreifen aus einem für diese Zwecke vorteilhaften Magnetwerkstoff. Die geringe Blechdicke und das minimale Volumen des Modulatorkernes erlauben eine Erhöhung der Ummagnetisierungsfrequenz bis etwa 100 kHz bei gleichzeitiger Absenkung des Magnetisierungsbedarfs um 3 ··· 5 Größenordnungen. Durch spezielle Anordnungen und Aussteuerung der Modulatorkerne sind Probleme einer Beeinflussung durch induzierte Modulationsprodukte beseitigt.

Von ausschlaggebender Bedeutung für die mit Nullflußwandlern übertragbare obere Grenzfrequenz des Meßstromes sind jedoch unabhängig von eingesetzten Sensortyp die Parameter der ihm zugrundeliegenden konventionellen Wandleranordnung. Es ist daher auch bei Gleich-, Misch- und Wechselstromwandlern dieses Prinzips notwendig, die Einflüsse von Wirbelströmen und Streuung auf den Frequenzgang der Wandleranordnung zu berücksichtigen.

In den Bildern 5a bis 5c sind die Fehlergänge eines nach dieser Grundanordnung hergestellten Allfrequenzstromwandlers für Gleich- und Wechselstromübertragung sowie das Übertragungsverhalten bei dynamischen Vorgängen dargestellt. Bei reiner Gleichstromaussteuerung zeigt sich ein Nullpunktfehler, der von der Form der Hysteresisschleife des eingesetzten Magnetwerkstoffes abhängt.

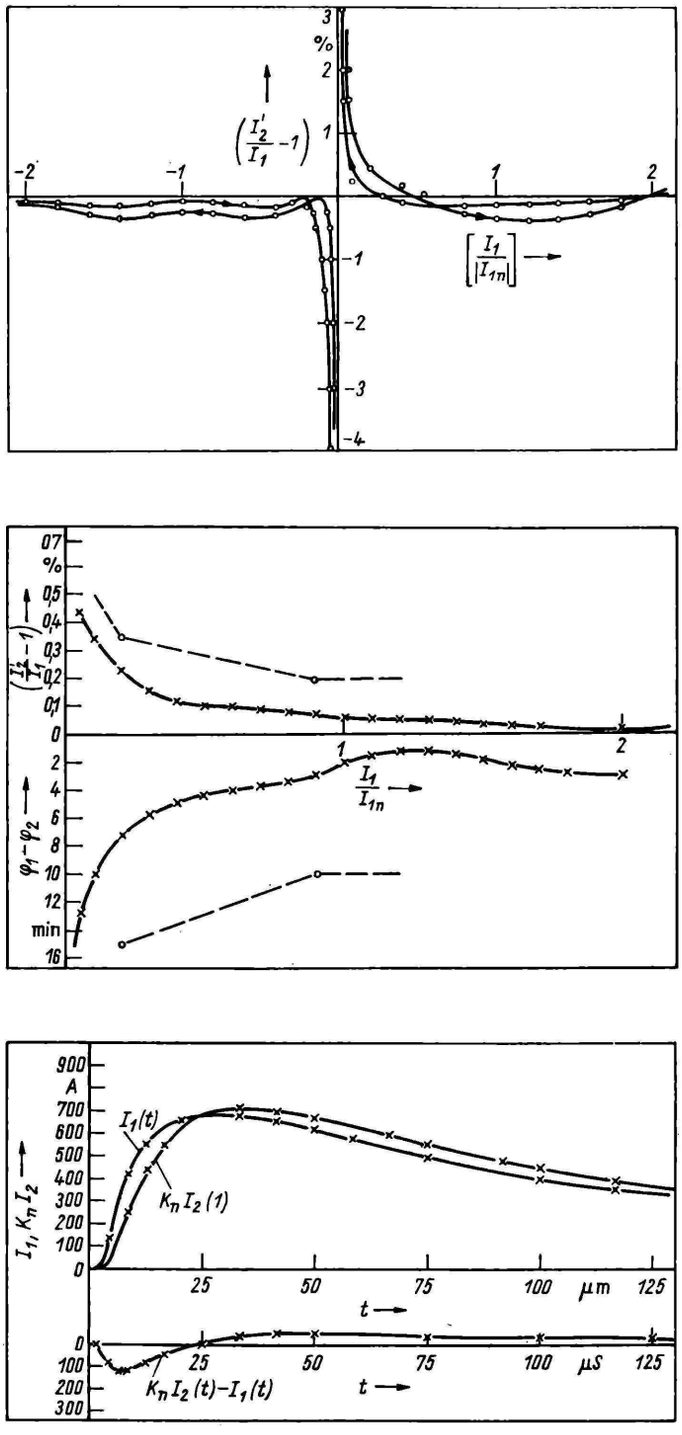


Bild 5. Allfrequenzstromwandler $I_n = 100$ A

a) Fehlerverläufe bei Abbildung reinen Gleichstromes
Pfeile: Richtung der Stromänderung
b) Relativer Fehler und Winkelfehler bei Abbildung sinusförmigen Wechselstromes 50 Hz
– – – – Fehlergrenzen Klasse 0.2 (konventionelle Stromwandler)
c) Dynamisches Verhalten ($di/dt_{max} = 92$ A/µs)

Ein vom VEB Transformatoren und Röntgenwerk „Hermann Matern" in Dresden nach diesem Prinzip hergestellter Allfrequenzstromwandler ist im Bild 6 abgebildet.
Kennzeichen derartiger „Allfrequenzstromwandler" sind

— ein gutes statisches und dynamisches Verhalten

— ein großer Bereich der realisierbaren Nennstromstärke

— weitgehende Unempfindlichkeit gegen von außen einwirkende magnetische Felder

— geringer Hilfsenergiebedarf und

— günstige Produzierbarkeit.

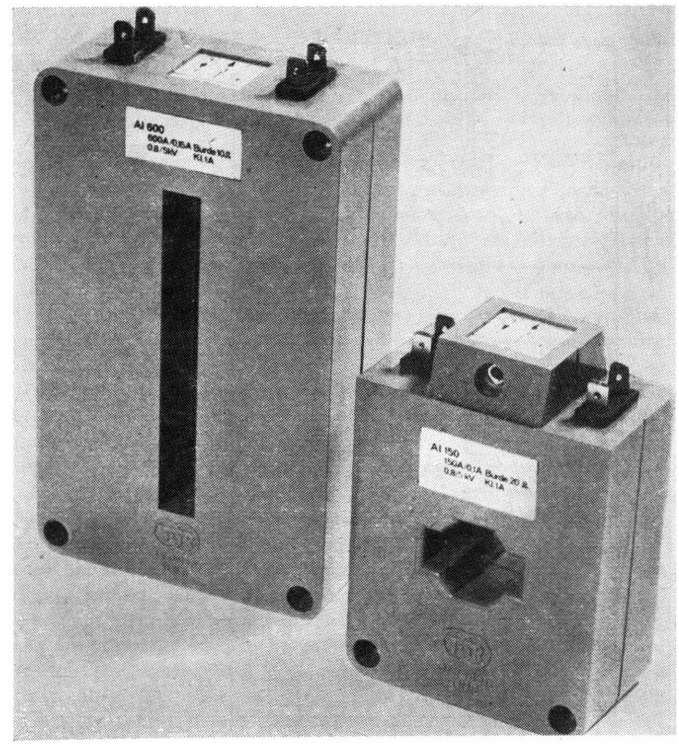


Bild 6. Allfrequenzstromwandler AI 150 und AI 600
Hersteller: VEB Transformatoren- und Röntgenwerk (TuR) „Hermann Matern" Dresden

3. Sonderformen von Gleichstromwandlern

Bisher wurde davon ausgegangen, daß der in seinem Grundaufbau konventionelle Nullflußwandler einen Magnetkern bedingt, der sowohl die Primärwicklung als auch die Sekundärwicklung trägt. Problematisch bei einer derartigen Konfiguration wird die Auslegung eines solchen Wandlers für extrem große Stromstärken wie z. B. in Elektrolyseanlagen anzutreffen sind. Der Einsatz in den Abmessungen derart kleiner magnetischer Modulatoren gestattet jedoch, auf einen geschlossenen Magnetkreis zu verzichten und nahezu punktförmig die magnetische Feldstärke in der Nähe des stromdurchflossenen Leiters als Meßgröße zu wählen [10]. Eine praktisch erprobte Anordnung besteht aus einer langgestreckten Spule, in der sich der eigentliche magnetische Modulator befindet. Diese Spule ist unmittelbar an der stromführenden Schiene angeordnet. Ein dem magnetischen Modulator nachgeschalteter Operationsverstärker treibt durch die Spule einen so großen Strom, daß im Bereich des magnetischen Modulators die Feldstärke zu Null kompensiert wird. Damit ist der Strom durch die Spule ein Maß für den in der Schiene fließenden Strom. Eine derartige Anordnung ist zwar kein Wandler im eigentlichen Sinne, sie ist aber mit weit weniger Aufwand verbunden und in ihrer Genauigkeit vergleichbar mit der von KRÄMER-Wandlern oder übertrifft diese sogar.

Literatur

[1] *Ermisch, J.; Hertwig, N.:* Potentialtrennverstärker zur Potentialfreien Messung von Gleich- und Wechselstromschaltungen. Der Elektro-Praktiker, Berlin 38 (1984) 8, S. 263 – 264

[2] *Kröger, I.; Lönne, G.; Richter, M.:* Potentialtrennender Analogwertgeber für Strom und Spannung. Siemens-Zeitschrift 45 (1971) 10, S. 744 – 747

[3] *Gronwald, D.:* Ein neuer magnetischer Wandler zur Messung von Mischströmen. Dissertation. D. 83. Technische Universität Berlin (West)

[4] *Haxel, N.:* Ein vorzeichenrichtiger verzögerungsfreier Kompensations-Gleichstromwandler. ATM Feb. 1964 Lfg. 337, S. R13 – R17

[5] *Haxel, N.:* Strommeßwandler DT PS 1153452

[6] *Boyjian, A.:* US – PS 2 428 613 v. 07. 11. 1947

[7] LEM's TRANSFO-SHUNT for the electronic measure of high current. Firmenschrift der LEM Liaisones Electroniques Mechaniques SA Gene've. Genf: Jan. 1978

[8] *Lisser, J.; Ribberink, R.:* Nullflußwandler zur Messung von Gleich- und Wechselströmen. ETZ A 100 (1979) 24, S. 130ff

[9] *Meinzer, K.:* Potentialfreie Messung von Gleichströmen Elektronik 30 (1981) 10, S. 54 – 56

[10] *Ermisch, J.; Hertwig, N.; Roseburg, D.:* Anordnung zur Messung von Gleichströmen. DD – PS G01R 268 935 2

[11] *Ermisch, J.; Hertwig, N.; Reiß, M.:* Einrichtung zur Messung von Gleichströmen EURO-PA 84108 347.0 v. 16. 07. 1984

EA 5634

Zustandsregelung eines elektrischen Antriebes mit elastischer, schwach gedämpfter Mechanik

A. Lappat, KDT, Dresden

Stellantriebe finden industriell breite Anwendung. Sie müssen hohen Anforderungen hinsichtlich der Präzision und der Dynamik der Stellbewegung genügen. Die Praxis zeigt, daß die elastischen Verbindungen im mechanischen Übertragungssystem auf hohe Beschleunigungen mit mehr oder weniger gedämpften Schwingungen reagieren. Diese Schwingungen können sich in nicht vernachlässigbaren Bewegungen und durch nicht zulässige mechanische Beanspruchung der Mechanik äußern. Um sie zu beherrschen, werden zunächst die Regler langsamer eingestellt, was allerdings zur Folge hat, daß die Dynamik des Antriebs trotz hochwertiger Stellglieder nicht befriedigt [1]. Der Einsatz von zusätzlichem Material zur Versteifung elastischer Verbindungen steht der Tendenz zur immer leichteren Bauweise bei möglichst höherer Leistungsfähigkeit gegenüber. Mit zusätzlich eingesetzten Massen wächst außerdem die erforderliche Energiemenge.

Beim gegenwärtigen Stand der Mikroelektronik steht die Frage, ob sich elastische, schwach gedämpfte mechanische Systeme nicht regelungstechnisch beherrschen lassen. Die moderne Regelungstheorie bietet mit den Kompensationsreglern [2], der Kaskadenregelung [3] und der Zustandsregelung [4] [5] mindestens drei Ansätze zur theoretischen Lösung dieses Problems. Insbesondere die Zustandsregelung zeichnet sich durch einen klaren und übersichtlichen Entwurf aus.

Aus diesem Grund widmet sich der vorliegende Beitrag dem Entwurf der Zustandsregelung für ein elastisches mechanisches Übertragungssystem. Zu einigen praktischen Gesichtspunkten dieser Regelstruktur werden theoretische Betrachtungen, Ergebnisse der Analogrechnersimulation und Erfahrungen am mikrorechnergeregelten Versuchsstand (3,5 kW Gleichstromantrieb) dargelegt.

Bild 1 zeigt den Signalflußplan der Regelstrecke, der die wesentlichen Eigenschaften des elektromechanischen Systems widerspiegelt.

- Das mechanische System sei auf die Anordnung Motorträgheitsmoment — elastische, masselose Welle — Lastträgheitsmoment (Zweimassensystem) überführbar.
- Die Verzögerungen und Verstärkungen, die im Regelkreis durch Meßglieder, den Regler und das Stellglied auftreten, werden durch ein Verzögerungsglied 1. Ordnung berücksichtigt.
- Sämtliche Reibmomente und die Dämpfung der elastischen Welle werden vernachlässigt, um dem Charakter eines schwach gedämpften mechanischen Systems nahezukommen.
- Nichtlinearitäten aller Art (Begrenzung der Stellgröße, mechanisches Spiel, Coulombsche Reibung ...) bleiben beim Entwurf unberücksichtigt.

Im folgenden wird vorausgesetzt, daß die mechanischen Zustandsgrößen Winkelgeschwindigkeit am Motor ω_M, Torsionswinkel der Welle φ_T und die Winkelgeschwindigkeit an der Last ω_L zur Verfügung stehen. Können ein oder zwei dieser Größen nicht durch Meßwertgeber erfaßt werden, ist eine Berechnung der fehlenden Zustandsgrößen durch einen Zustandsbeobachter [6] [7] möglich, worauf hier nicht weiter eingegangen wird.

1. Der Entwurf des Zustandsreglers

Zum Entwurf des Zustandsreglers liegt bereits eine größere Anzahl von Arbeiten (z.B. [5] [7]) vor. Prinzipiell besteht der Zustandsregler aus einem das System durch proportionale Rückführungen stabilisierenden Teil und einem zweiten, der für die der Aufgabenstellung gemäße Sollwertfolge und den Störgrößenausgleich sorgt. Es wird nur ein System mit einer Eingangs- und einer Ausgangsgröße betrachtet.

Dipl.-Ing. *Andreas Lappat* ist wissenschaftlicher Assistent im Bereich Elektrische Automatisierungstechnik an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden.

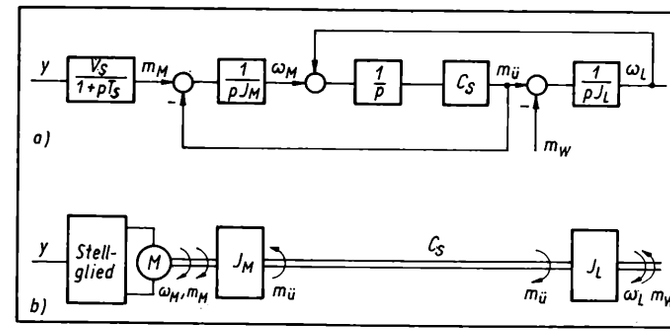


Bild 1. Das elastische mechanische Übertragungssystem
a) Signalflußplan *b*) Skizze

y	Stellgröße
m_M	Motormoment
ω_M	Winkelgeschwindigkeit am Motorwellenende
φ_T	Torsionswinkel der elastischen Welle
ω_L	Winkelgeschwindigkeit am Lastwellenende
$m_{\ddot{U}}$	übertragenes Moment
m_W	Widerstandsmoment am Lastwellenende
J_M	Trägheitsmoment des Motors und der mit ihm starr verbundenen Massen
J_L	Trägheitsmoment der Last
C_S	Federkonstante der elastischen Welle

1.1. Der Reglerentwurf allgemein

Die Differentialgleichungen der Regelstrecke werden in ein lineares Gleichungssystem von Differentialgleichungen 1. Ordnung wie folgt umgeformt:

$$\dot{\underline{q}} = \underline{A}\,\underline{q} + \underline{b}\,y + \underline{e}\,z \tag{1}$$

$$x = \underline{c}^T\,\underline{q}$$

$\underline{A}$	Systemmatrix	$\underline{q}$	Zustandsgrößenvektor
$\underline{b}$	Eingangsvektor	y	Stellgröße
$\underline{c}$	Ausgangsvektor	x	Regelgröße
$\underline{e}$	Störvektor	z	Störgröße

Bevor der Regelkreis geschlossen wird, ist zunächst der Nachweis zu führen, daß die Regelstrecke über die Stellgröße steuerbar ist. Dazu ist die Determinante der Steuerbarkeitsmatrix zu untersuchen [8]. Ist sie ungleich Null, so ist die Steuerbarkeitsbedingung erfüllt.

Durch die vollständige Rückführung des Zustandsgrößenvektors wird erreicht, daß das dynamische Verhalten des Systems beliebig verändert werden kann. Für eine befriedigende Sollwertfolge und ausreichenden Störungsausgleich wird hier zusätzlich eine integrale Rückführung der Regelabweichung vorgesehen. Das Regelgesetz wird in Gleichung (2) formuliert.

$$y = r_A\,w + r_I \int (w - \underline{c}^T\,\underline{q})\,\mathrm{d}\,t - \underline{r}_P^T\,\underline{q} \tag{2}$$

r_A	Verstärkungsfaktor zur Sollwertaufschaltung
r_I	Verstärkungsfaktor der Integralrückführung
$\underline{r}_P$	Vektor der Verstärkungsfaktoren der Zustandsrückführung.

Setzt man die Gleichung (2) in das Gleichungssystem (1) ein, erhält man das Gleichungssystem des zustandsgeregelten Regelkreises.

$$\begin{bmatrix} \dot{\underline{q}} \\ \dot{\chi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A} - \underline{b}\,\underline{r}_P^T & \underline{b}\,r_I \\ -\underline{c}^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{q} \\ \chi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{b}\,r_A \\ 1 \end{bmatrix} w + \begin{bmatrix} \underline{e} \\ 0 \end{bmatrix} z \tag{3}$$

$$x = [\underline{c}^T\ 0] \begin{bmatrix} \underline{q} \\ \chi \end{bmatrix} \quad \text{mit } \chi = \int (w - \underline{c}^T\,\underline{q})\,\mathrm{d}\,t\,.$$

Für die Stabilität eines Regelkreises ist in erster Linie sein charakteristisches Polynom kennzeichnend. In unserem Fall kann es vollständig mit Hilfe der Reglerverstärkungsfaktoren $\underline{r}_P$ und r_I vorgegeben werden (r_A hat lediglich Einfluß auf das Führungsverhalten).

$$\det\left\{p\,\underline{I} - \begin{bmatrix} \underline{A} - \underline{b}\,\underline{r}_P^T & \underline{b}\,r_I \\ -\underline{c}^T & 0 \end{bmatrix}\right\} = a_0 + a_1\,p + a_2\,p^2 + \cdots + p^n = 0 \tag{4}$$

$\underline{I}$: Einheitsmatrix

Die Reglerverstärkungsfaktoren werden z.B. durch den Vergleich der Koeffizienten der beiden Polynome gefunden. Eine rechentechnisch interessante Lösung ist in [7] angegeben.

1.2. Anwendung auf das Zweimassenmodell

Stellt man die im Signalflußplan (Bild 1) dargestellten Differentialgleichungen gemäß der Gleichung (1) auf, ergibt sich

$$\begin{bmatrix} \dot{m}_M \\ \dot{\omega}_M \\ \dot{\varphi}_T \\ \dot{\omega}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_S} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{J_M} & 0 & -\frac{C_S}{J_M} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & \frac{C_S}{J_L} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_M \\ \omega_M \\ \varphi_T \\ \omega_L \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{V_S}{T_S} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} y + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{J_L} \end{bmatrix} m_W \tag{5}$$

$$\omega_L = [0\ 0\ 0\ 1]\ [m_M\ \omega_M\ \varphi_T\ \omega_L]^T.$$

Man kann zeigen, daß dieses System steuerbar ist. Mit der Reglergleichung

$$y = r_A \omega_S + r_I \int (\omega_S - \omega_L)\, \mathrm{d}\, t - [r_1\, r_2\, r_3\, r_4]\, [m_M\, \omega_M\, \varphi_T\, \omega_L]^T \tag{6}$$

findet man

$$\begin{bmatrix} \dot{m}_M \\ \dot{\omega}_M \\ \dot{\varphi}_T \\ \dot{\omega}_L \\ \dot{\chi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1+V_S r_1}{T_S} & -\frac{V_S r_2}{T_S} & -\frac{V_S r_3}{T_S} & -\frac{V_S r_4}{T_S} & \frac{V_S r_I}{T_S} \\ \frac{1}{J_M} & 0 & -\frac{C_S}{J_M} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{C_S}{J_L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} m_M \\ \omega_M \\ \varphi_T \\ \omega_L \\ \chi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_S r_A}{T_S} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \omega_S + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{J_L} \\ 0 \end{bmatrix} m_W. \tag{7}$$

Der Koeffizientenvergleich der charakteristischen Gleichung mit dem gewünschten Polynom liefert das Gleichungssystem für die Reglerverstärkungsfaktoren:

$$r_1 = \frac{1}{V_S}\,[a_4\, T_S - 1]$$

$$r_2 = \frac{J_M\, T_S}{V_S}\left[a_3 - C_S\left(\frac{1}{J_L} + \frac{1}{J_M}\right)\right]$$

$$r_3 = \frac{J_M\, T_S}{V_S}\left[a_2 - a_4\, C_S\left(\frac{1}{J_L} + \frac{1}{J_M}\right)\right]$$

$$r_4 = \frac{J_M\, T_S}{V_S}\left[\frac{J_L}{C_S}\, a_1 - a_3 + C_S\left(\frac{1}{J_L} + \frac{1}{J_M}\right)\right]$$

$$r_I = \frac{J_L J_M\, T_S}{C_S\, V_S}\, a_0. \tag{8}$$

1.3. Die Wahl des charakteristischen Polynoms

Der Reglerentwurf konnte bis zur Berechnung der Reglerverstärkungsfaktoren (8) formal durchgeführt werden. Mit der Wahl des charakteristischen Polynoms wird ein Problem aufgeworfen, das nicht in gleicher Weise abgehandelt werden kann. Es sind zwar Methoden bekannt, die die Bestimmung von sogenannten Normpolynomen ermöglichen, jedoch eröffnet sich die Frage, ob es nicht ein geeigneteres Polynom für den betrachteten Regelkreis gibt: Zunächst soll eine Methode zur Bildung von Normalpolynomen [9] vorgestellt werden. Ausgehend von der Gleichung des Polynoms

$$P(p) = a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \cdots + p^n = 0 \tag{9}$$

werden die sogeannten Doppelverhältnisse

$$d_i = \frac{a_i^2}{a_{i-1}\, a_{i+1}}\ (i = 1, 2, \ldots, n-1) \tag{10}$$

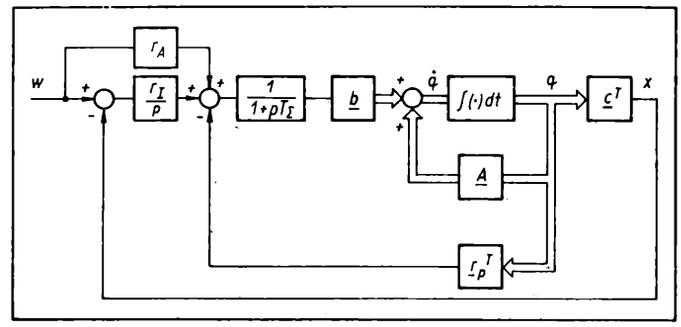


Bild 2. Berücksichtigen einer nicht kompensierten Zeitkonstante T_Σ im Regelkreis

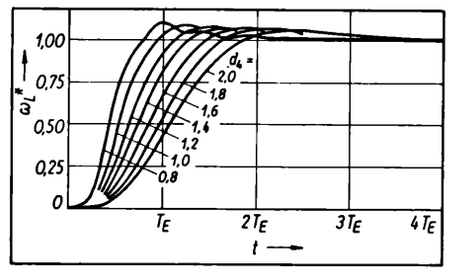


Bild 3
Sprungantworten des Regelkreises ($d_1 = d_2 = d_3 = 2$; $T_E = 2^4\, T_S$) in Abhängigkeit von d_4 (Analogrechner)

gebildet, alle gleich groß d gewählt und je nach der gewünschten Dämpfung des Regelkreises festgelegt.

In [9] werden für die Wahl des Doppelverhältnisses folgende grobe, doch für ingenieurgemäße Einstellung ausreichende, Beziehungen angegeben:

$$d \approx 1{,}4\, D + 1{,}07 \tag{11}$$

D Dämpfung eines Schwingungsgliedes 2. Ordnung

d $\quad 1{,}6 \leqq d \leqq 2{,}4$

$$h_{\ddot{u}} \approx 10^{(4{,}8-2d)} \tag{12}$$

$h_{\ddot{u}}$ relative Überschwingweite der Sprungantwort in %

$$t_{\max} \approx 2{,}2\, \frac{a_1}{a_0} = 2{,}2\, T_E \tag{13}$$

$t_{\max}$ Zeit bis zum 1. Maximum der Sprungantwort.

Für einen Regelkreis 5. Ordnung ergibt sich bei durchweg gleichem Doppelverhältnis d die charakteristische Gleichung

$$\frac{d^{10}}{T_E{}^5} + \frac{d^{10}}{T_E{}^4}\, p + \frac{d^9}{T_E{}^3}\, p^2 + \frac{d^7}{T_E{}^2}\, p^3 + \frac{d^4}{T_E}\, p^4 + p^5 = 0. \tag{14}$$

Man muß jetzt die Zeitkonstante T_E entsprechend den technologischen Anforderungen vorgeben. Das geht gut, solange T_E genügend groß gewählt wird. Gibt es eine Grenze für die Wahl dieser Zeitkonstante? Man könnte annehmen, daß lediglich die Begrenzung der Stellgröße die kleinstmögliche Zeitkonstante T_E festlegt.

2. Erfahrungen beim Einsatz des Zustandsreglers

2.1. Bestimmung der kleinsten Zeitkonstante T_E

Analog der klassischen Untersuchungsmethoden führen wir eine nicht kompensierbare Zeitkonstante T_Σ ein. Das ist durch die Berücksichtigung eines Verzögerungsgliedes 1. Ordnung zusätzlich zum bereits vorhandenen möglich. Eine Trennung der innersten Rückführung erfüllt ebenfalls den Zweck. Setzt man $r_1 = 0$, so ist

$$a_4\, T_S - 1 = 0. \tag{15}$$

Für gleiche Doppelverhältnisse berechnet sich die Zeitkonstante

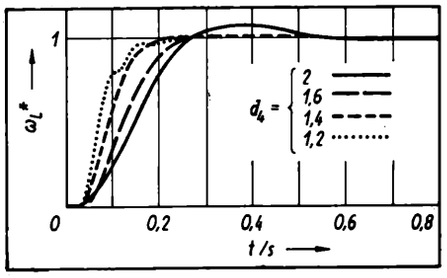


Bild 4
Sprungantworten des Regelkreises ($d_1 = d_2 = d_3 = 2$) in Abhängigkeit von d_4 (Versuchsstand)

für den Regelkreis ohne m_M-Rückführung:

$$T_E = d^4\, T_S. \tag{16}$$

Führt man in Gleichung (1) zusätzlich ein Verzögerungsglied 1. Ordnung mit der kleinen Zeitkonstante T_Σ ein (Bild 2), so ergibt sich die charakteristische Gleichung des geregelten Systems

$$\det\left\{\begin{bmatrix} p + \dfrac{1}{T_\Sigma} & \dfrac{r_P{}^T}{T_\Sigma} & -\dfrac{r_I}{T_\Sigma} \\ -\underline{b} & p\,\underline{I} - \underline{A} & \underline{0} \\ 0 & \underline{c}^T & p \end{bmatrix}\right\} = 0 \tag{17}$$

mit der charakteristischen Gleichung des ungeregelten Systems

$$\det\{p\,\underline{I} - \underline{A}\} = b_0 + b_1\, p + b_2\, p^2 + \cdots + p^{n-2} = 0. \tag{18}$$

Durch weiteres Umformen erhält man die Beziehung

$$T_E = \frac{T_\Sigma}{1 + T_\Sigma\, b_{n-3}} \prod_{i=1}^{n-1} d_i \tag{19}$$

zur Bestimmung der Zeitkonstante T_E.

Da man davon ausgehen kann, daß stets eine nicht kompensierbare Zeitkonstante bzw. eine innere nicht realisierbare Zustandsrückführung existiert, gibt es keine Wahl der Zeitkonstanten T_E im eigentlichen Sinne. Je nach Festlegung der Doppelverhältnisse ist T_E definiert. Will man eine kürzere Anregelzeit realisieren, so müssen kleinere Doppelverhältnisse d_i gewählt werden.

2.2. Modifikation des charakteristischen Polynoms

Mit Hilfe des Hurwitzkriteriums läßt sich für jede Ordnung des Regelkreises das kleinste Doppelverhältnis d finden (Tafel 1), für

Tafel 1. Doppelverhältnis an der Stabilitätsgrenze

n	3	4	5	6
d	1	$\sqrt{2}$	$\approx 1{,}4656$	$\sqrt{2}$

das dieser noch stabil ist. Davon ausgehend sollte $d > 1{,}5$ gewählt werden. Analogrechneruntersuchungen zeigen, daß man durch die Verminderung der Doppelverhältnisse $d_4, d_5, \ldots d_{n-1}$ das Verhalten des Regelkreises beschleunigen kann, ohne die Dämpfungseigenschaften wesentlich zu beeinträchtigen. Die Analogrechnerschriebe (Bild 3) verdeutlichen, daß der Regelkreis (7) mit Beachtung von (8) und (15) durch Konstanthalten der drei ersten Doppelverhältnisse und Vermindern von d_4 schneller wird, ohne daß das Überschwingen und die Schwingungsneigung zunehmen. Im Bild 4 sind die Zeitverläufe der Lastdrehzahl des mikrorechnergeregelten Versuchsstandes dargestellt. Die Parameter der Regelstrecke sind:

$J_M = 0{,}1\ \mathrm{Nms^2\,rad^{-1}}$,
$J_L = 0{,}09\ \mathrm{Nms^2\,rad^{-1}}$,
$C_S = 320\ \mathrm{Nm\,rad^{-1}}$ und
$T_S = 0{,}008$ s.

2.3. Parameterempfindlichkeit

Zur Berechnung der Reglerverstärkung gehen in den Gleichungen (8) alle Parameter der Mechanik ein. Wie genau müssen diese Parameter bereitgestellt werden, um eine den theoretischen Verhältnissen nahekommende Reglereinstellung berechnen zu können? In [9] wird unterstrichen, daß für das Verhalten der Regelstrecke in erster Linie die Doppelverhältnisse d_1 und d_2 wichtig sind. Gleiches läßt sich auch aus [8] entnehmen, wo für die Reglerauslegung die ersten 3 bis 4 Koeffizienten des charakteristischen Polynoms zur Wahl der Reglerverstärkungen herangezogen werden. Setzt man die Gleichungen (8) mit den Parametern J_M, J_{L0} und C_{S0} und (15) (16) in die charakteristische Gleichung von (7) ein, so erhält man für das Produkt der beiden ersten Doppelverhältnisse bezogen auf das Quadrat des gewünschten Doppelverhältnisses

$$\frac{d_1 d_2}{d^2} = \frac{1 + d^3\, T_S{}^2\, \omega_{e0}{}^2 \left(\dfrac{\omega_e{}^2}{\omega_{e0}{}^2} - 1\right)}{1 + d\, T_S{}^2\, \omega_{e0}{}^2 \left(\dfrac{\omega_e{}^2}{\omega_{e0}{}^2} - 1\right)} \tag{20}$$

mit

$$\omega_e{}^2 = C_S \left(\frac{1}{J_M} + \frac{1}{J_L}\right)$$

$$\omega_{e0}{}^2 = C_{S0} \left(\frac{1}{J_M} + \frac{1}{J_{L0}}\right).$$

Bild 5 demonstriert den Einfluß des Fehlers $\dfrac{\omega_e{}^2}{\omega_{e0}{}^2}$ in Abhängigkeit des Faktors $T_S{}^2\, \omega_{e0}{}^2$ auf die beiden ersten Doppelverhältnisse. Die Analogrechnerschriebe Bild 6 zeigen den Einfluß der Änderung von $d_1\, d_2$ auf die Sprungantwort des Regelkreises deutlich.

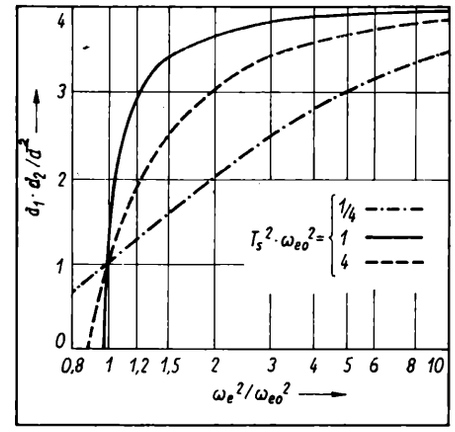


Bild 5
Parameterempfindlichkeit des Regelkreises ($d = 2$)

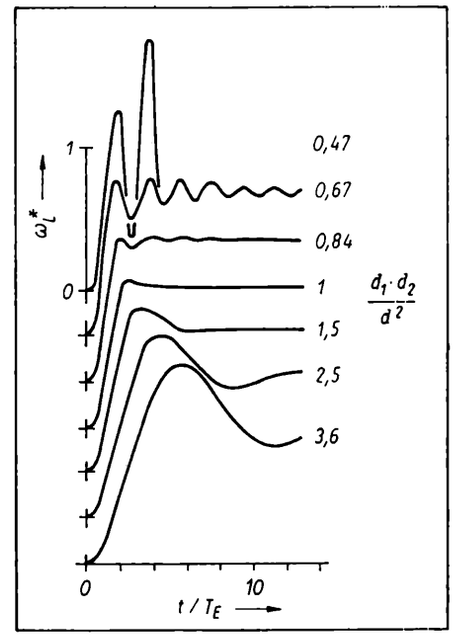


Bild 6
Sprungantworten des Regelkreises in Abhängigkeit von $d_1\, d_2/d^2$ ($d = 2$)

Der Einsatz des Zustandsreglers ist insbesondere bei $T_S{}^2\, \omega_{e0}{}^2 \geqq 1$ nur bei genauer Kenntnis der Parameter der Mechanik vorzunehmen. Im Falle von zeitvarianter Eigenfrequenz sollte der Regelkreis für die geringste Eigenfrequenz abgestimmt werden.

3. Zusammenfassung

Elektrische Antriebe mit elastischer Mechanik sind mit konventionellen Reglern schwer zu beherrschen. Im Beitrag wird der Entwurf des Zustandsreglers für ein elastisches Zweimassensystem vorgestellt. Für die Einstellung des Zustandsreglers in Abhängigkeit der nicht kompensierbaren Zeitkonstante und zur Parameterempfindlichkeit werden Hinweise gegeben. Bei allen Betrachtungen wurde die Mechanik als linear und zeitinvariant angenommen. Die Untersuchung und die Verminderung des Einflusses von Nichtlinearitäten (mechanisches Spiel, trockene Reibung, Stellgrößenbegrenzung) und der Zeitvarianz der Parameter der Mechanik auf das Verhalten des zustandsgeregelten Antriebs mit elastischer Mechanik ist das Ziel eines weiteren Beitrags.

Literatur

[1] *Schönfeld, R.; Habiger, E.:* Automatisierte Elektroantriebe. Berlin: VEB Verlag Technik 1983

[2] *Weber, W.:* Ein leicht zu berechnender Regler für vorgeschriebenes Zeitverhalten des Regelkreises. Regelungstechnik 16 (1968) Autor, S. 260 – 262

[3] *Gottschalk, H.-P.:* Untersuchungen zur Parameterempfindlichkeit lagegeregelter Stellantriebe mit elastischer mechanischer Übertragung. messen-steuern-regeln, Berlin 24 (1981) 8, S. 433 – 437

[4] *Hopfengärtner, H.:* Lageregelung schwingungsfähiger Servosysteme am Beispiel eines Industrieroboters. Regelungstechnik 29 (1981) 1, S. 3 – 10

[5] *Wierschem, T.:* Entwurf von Lagereglungen für schwach gedämpfte Antriebe. Dissertation TH Aachen 1980

[6] *Luenberger, D. G.:* Observing the state of a linear system IEEE Transaction on Military Electronics. 8 (1964) 2, S. 74 – 80

[7] *Ackermann, J.:* Der Entwurf linearer Regelungssysteme im Zustandsraum. Regelungstechnik 20 (1972) 7, S. 297 – 300

[8] *Reinisch, K.:* Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme. Berlin: VEB Verlag Technik 1982

[9] *Naslin, P.:* Dynamik linearer und nichtlinearer Systeme. R. Oldenbourg Verlag 1968

EA 5511

Ein Mehrmotorenasynchronantrieb mit verbesserten dynamischen Eigenschaften für Hebezeuge

K. P. Vlassov; V. N. Tišenko; V, N. Šamardina

In Laufmechanismen von lasthebenden Brückenkranen wird der Einzel-Asynchron-Elektroantrieb vielfältig genutzt. Die Anwendungserfahrungen und -untersuchungen zeigen, daß beim Anlauf und Bremsen erhebliche Kräfte in den Metallkonstruktionen der Krane auftreten. Oft kommt es zur Aufhebung des Reibschlusses zwischen Treibrad und Schiene, was von hochfrequenten elastischen Resonanzschwingungen in den Transmissionswellen des Fahrwerkes begleitet wird. Das führt zu einem schnellen Verschleiß der Laufteile des Kranes und der Laufschienen. Darum besitzt die Konstruktion von einfachen und zuverlässigen elektrischen Antriebssystemen für das Laufwerk eine hohe Bedeutung.

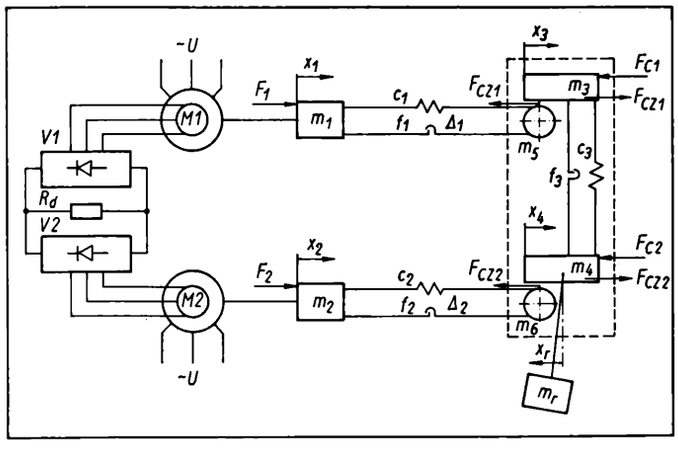
Als aussichtsreich in dieser Beziehung gilt ein Mehrmotorenantrieb für das Laufwerk, bei dem die Läufer der Asynchronmaschine elektrisch miteinander verbunden sind (Bild 1), wobei die Läufer über nichtregulierbare Gleichrichter V an einen gemeinsamen regulierbaren Anlaufwiderstand R_d angeschlossen werden [1]. Das Prinzip der gegenseitigen Regulierung besteht laut Schaltplan darin, daß die gleichgerichtete Läuferspannung des Asynchronmotors und demzufolge ihre Drehzahl automatisch auf konstantem Niveau gehalten wird. Der vorliegende Antrieb zeichnet sich durch eine einfache technische Lösung aus, die basierend auf modernem Niveau nicht nur in die Neufertigung von Hebezeugen eingeführt, sondern auch vom Anwender realisiert werden kann.

In der vorliegenden Arbeit werden Untersuchungsergebnisse zum Einfluß der elektrischen Kopplung der Fahrwerksmotoren auf die Größe der dynamischen Kräfte in den Metallkonstruktionen der Kranbrücke und auf die Dynamik des Kranes (unter Berücksichtigung des Getriebespiels im Fahrwerk und beim Durchdrehen der Antriebsräder) angegeben.

Für die Bestimmung der dynamischen Belastungen in den Kranelementen kann man ein Sieben-Massen-Berechnungsschema darstellen (Bild 1). Dementsprechend gilt für die Bewegung des Elektroantriebs der Kranbrücke folgendes System von Differentialgleichungen [2]:

$$
\begin{aligned}
&m_1 p^2 x_1 + f_1 p (x_1 - x_5) + C_1 (x_1 - x_5) = F_1,\\
&m_3 p^2 x_3 + f_3 p (x_3 - x_4) + C_3 (x_3 - x_4) = F_{CZ1} - F_{C1} \operatorname{sign} p x_3,\\
&m_5 p^2 x_5 - f_1 p (x_1 - x_5) - C_1 (x_1 - x_5) = - F_{CZ1},\\
&m_2 p^2 x_2 + f_2 p (x_2 - x_6) + C_2 (x_2 - x_6) = F_2, \qquad (1)
\end{aligned}
$$

Bild 1. Elektromechanisches Schema des Fahrwerkes



Prof. Dr. sc. techn. *K. P. Vlassov*, Dr.-Ing. *V. N. Tišenko*, Dipl.-Ing. *V. N. Šamardina*; Polytechnisches Institut Charkov

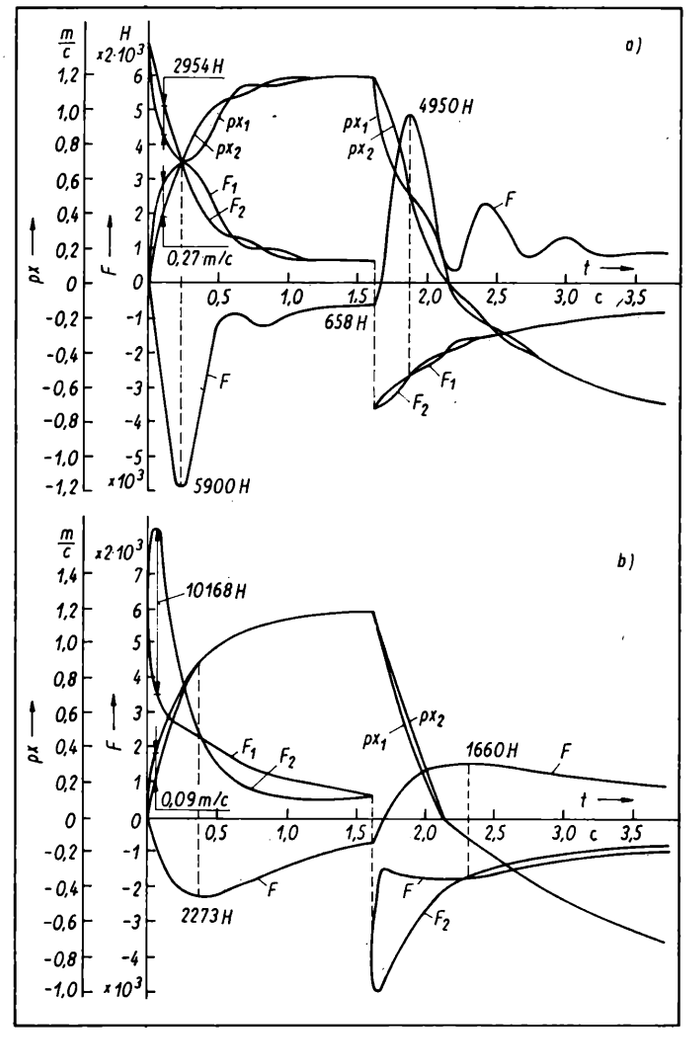


Bild 2. Dynamische Führungskräfte an Lastkranen
a) ohne elektrische Kopplung b) mit elektrischer Kopplung

$$
\begin{aligned}
&m_4 p^2 x_4 - f_3 p (x_3 - x_4) - C_3 (x_3 - x_4) + f_r p x_r + C_r x_r\\
&\qquad = F_{CZ2} - F_{C2} \operatorname{sign} p x_4,\\
&m_6 p^2 x_6 - f_2 p (x_2 - x_6) - C_2 (x_2 - x_6) = - F_{CZ2},\\
&m_r p^2 (x_4 - x_r) - f_r p x_r - C_r x_r = 0
\end{aligned}
$$

m_1, m_2	zum Gesamtumfang des Laufrades zugeordnete Läufermasse der Motoren, der Bremsscheiben und der kinematischen Zwischenglieder
m_5, m_6	Masse der Antriebsräder
$m_3 + m_4$	Masse des Brückenkranes
m_4	Masse der Laufkatze
m_r	Masse der Last
$x_1 \cdots x_6; x_r$	Koordinaten der sich bewegenden Kranmassen
C_r, C_1, C_2, C_3	Festigkeitsfaktoren der Transmissionswellen und der Metallkonstruktion des Brückenkranes
f_1, f_2, f_3, f_r	Dämpfungskoeffizienten
p	Laplaceoperator
F_1, F_2	Zugkräfte der Antriebsmotoren
$F_{CZ1}; F_{CZ2}$	Umfangskraft an Treibrädern
F_{C1}, F_{C2}	statischer Gesamtwiderstand der Laufkatzenbewegung.

Entsprechend [1] kann die Funktion der Zugkräfte F_1 und F_2, die von den Motoren unter Berücksichtigung der elektrischen Kopplung entwickelt werden, wie folgt beschrieben werden

$$
\begin{aligned}
&F_1 = \pm a_0' - (a_M' + a_e') p x_1 + a_e' p x_2,\\
&F_2 = \pm a_0' - (a_M' + a_e') p x_2 + a_e' p x_1. \qquad (2)
\end{aligned}
$$

a_0'	Größe der Kräfte bei einer Motordrehzahl $n = 0$ („+" entspricht dem Motorregime und „—" der Bremsung)
a_M'	Anstieg der mechanischen Kennlinie
a_e'	Koeffizient der elektrischen Motorkopplung

Für die Bestimmung der Abhängigkeiten von Zugkräften F_1 und F_2

für den elektrischen Antrieb ohne elektrische Kopplung muß man in den Gleichungen (2) $a_6' = 0$ setzen. Die Umfangskräfte der Treibräder ermitteln sich aus den Gleichungen

$$F_{CZ1} = \mu_1 N_1 \operatorname{sign} p (x_5 - x_1),$$
$$F_{CZ2} = \mu_2 N_2 \operatorname{sign} p (x_6 - x_2). \quad (3)$$

μ_1, μ_2 Kopplungskoeffizienten
N_1, N_2 Druckkräfte auf die angetriebenen Räder

In den Berechnungen wurde die reale Kennlinie der Umfangskräfte der Treibräder durch eine nichtlineare Trockenreibungskennlinie ersetzt.

Die Untersuchung des Einflusses der elektrischen Läuferkopplung der Antriebsmotoren auf die Krandynamik wurde in allen Fällen mit Hilfe eines Digitalrechners durchgeführt. Sie wurden für Anlauf- und Bremsregime angestellt, und zwar für einen Brückenkran mit einer Tragfähigkeit von 20 t (Spannweite: 28,5 m) und mit einem Antriebsmotor vom Typ MTT 311-6.

Untersuchungsergebnisse

1. Die Untersuchungen der dynamischen Führungskräfte erfolgten für feste und elastische Lastaufhängungen. Der Lastkran wurde durch Zwei- bzw. Drei-Massen-Systeme dargestellt:

$$m_1' = m_1 + m_3 + m_5$$
$$m_2' = m_2 + m_4 + m_6 + m_r \quad \text{oder}$$
$$m_1 m_2' = m_2 + m_4 + m_6 m_r$$

Das entsprechende Ausgangssystem von Differentialgleichungen (1) wurde umgeformt in ein System mit 2 bzw. 3 Gleichungen.
Die Ausgleichsvorgänge der elektrischen Einzelantriebe für eine der Berechnungen sind im Bild 2 dargestellt. Die Analyse der Diagramme zeigt, daß beim üblichen elektrischen Einzelantrieb des Fahrwerkes die Geschwindigkeiten $p\,x_1$ und $p\,x_2$ in der Periode der nichtstationären Bewegung Schwingungscharakter haben und sich in ihrer Größe bedeutend unterscheiden. Das führt zu einer unabhängigen Bewegung der sich gegenüberliegenden Laufkatzen des Kranes und damit zur Entstehung von großen dynamischen Führungskräften. Das Vorhandensein einer elektrischen Kopplung der Antriebsmotoren erhöht die Dämpfungseigenschaften des elektromechanischen Systems. Die Ausgleichsvorgänge verlaufen regelmäßiger, die Geschwindigkeiten erhöhen sich nach einer definierten Funktion und die maximale dynamische Führungskraft sowie der Dynamitätsfaktor werden kleiner:

für Krane mit fester Lastaufhängung (2 bis 3) mal,
mit elastischer Lastaufhängung (1,5 bis 2,0) mal.

Zur Verbesserung der dynamischen Kennziffern kommt es durch den Prozeß der Selbststeuerung der Antriebsmotoren. Der Antrieb *M2* (Bild 2), für den die Anlauf- und Bremsbedingungen erschwert sind, erzeugt eine größere Kraft F_2 und *M1* eine geringere Kraft F_1 als es beim üblichen elektrischen Einzelantrieb der Fall gewesen ist, was eine synchrone Bewegung der sich gegenüberliegenden Laufgestelle des Kranes garantiert.

2. Die Untersuchungen der Krandynamik unter Berücksichtigung des Spieles in kinematischen Gliedern gestatten, den Einfluß der elektrischen Läuferkopplung der Antriebsmotoren auf die Größe der dynamischen Belastung in Transmissionswellen des Fahrwerkes zu bestimmen. Der Lastkran wurde als Drei-Massen-System dargestellt. Die Berechnungen wurden für einige unterschiedliche Spiele Δ_1 und Δ_2 in Zahnradgetrieben des Fahrwerkes durchgeführt. Die Berechnung der dynamischen Belastung in der Kraftübertragung des Fahrwerkes beim Anlauf erfolgt in drei Etappen. Zu der ersten Etappe sind die Spiele in beiden Zahnradgetrieben offen und die Massen m_1 und m_2 bewegen sich gleich schnell.
In der zweiten Etappe wird das kleinere Spiel Δ_1 ausgewählt und unter Einwirkung einer Belastung, die sich in diesen elastischen

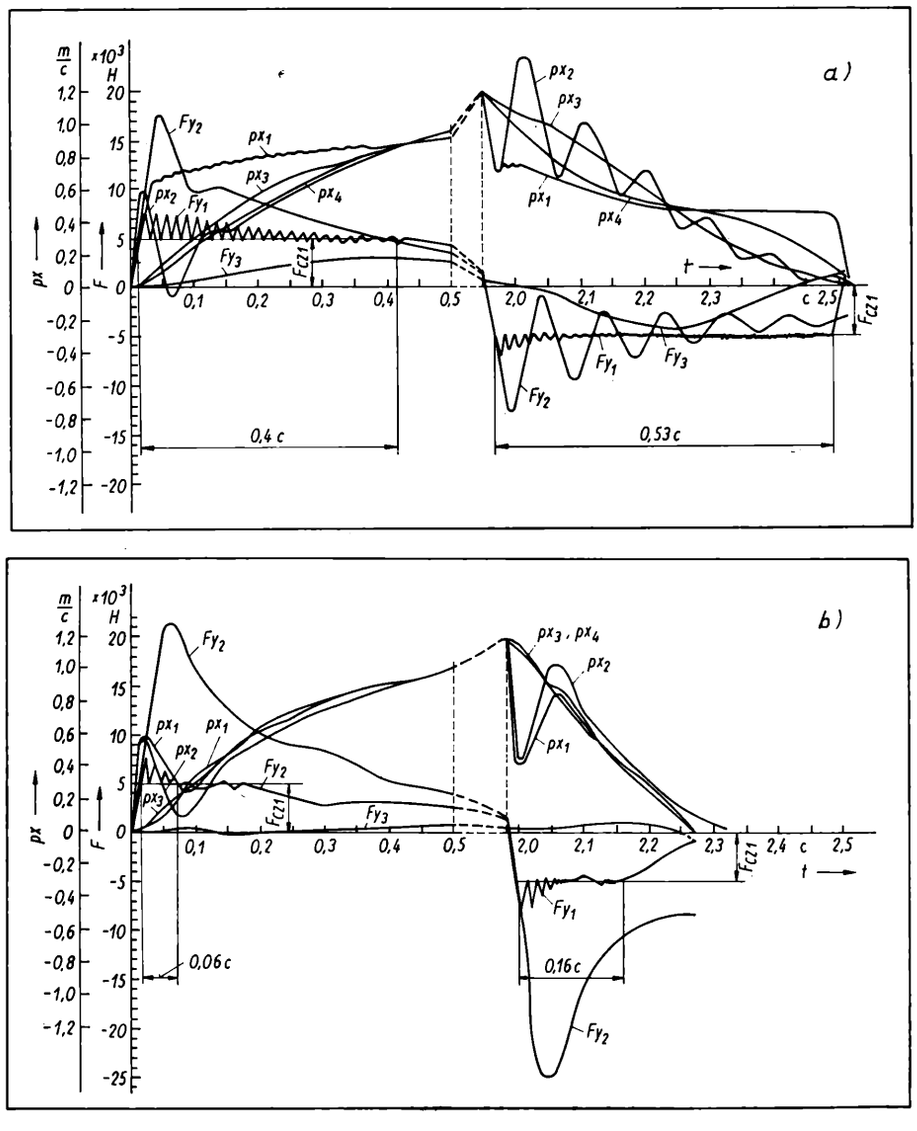


Bild 3. Dynamik von Lastkranen bei Rutschen und Durchdrehen
a) ohne elektrische Kopplung
b) mit elektrischer Kopplung

Verbindungen entwickelt, wird auch die Masse m_3 in Bewegung gesetzt. In der dritten Etappe wird das Spiel Δl_2 betrachtet, die Etappe charakterisiert sich durch eine gleichzeitige Bewegung der Massen m_1; m_2 und m_3.
Die Untersuchungen haben gezeigt, daß sich bei der Wahl der Spiele die elektrische Kopplung der Läufer der Antriebsmotoren so ausbildet, daß die maximalen dynamischen Belastungen in den Kraftübertragungen mit großem Spiel um das 3- bis 5fache sinken, und in Transmissionen mit kleinem Spiel werden sie um das (1,1 bis 2,2)-fache größer, im Vergleich mit den Beanspruchungen beim herkömmlichen elektrischen Antrieb.

3. Untersuchungen der dynamischen Belastungen in den Kranelementen beim Durchdrehen der Antriebsräder des Verschiebemechanismus wurden auf der Grundlage des allgemeinen mathematischen Modells durchgeführt (1). Die Rechenergebnisse für den Fall, bei dem die Bedingung $F_g < F_{CZ}$ der Räder mit den Schienen nur an einer Seite des Kranes nicht erfüllt wurde, sind in den Diagrammen der Ausgleichsvorgänge im Bild 3 dargestellt, $F_{g\,max}$ — maximale Beanspruchung in der elastischen Verbindung zwischen den Massen des Antriebs und des Brückenkranes. Die Kranbewegung kann in diesem Fall durch ein System von 5 Differentialgleichungen beschreiben.

$$m_4' = m_4 + m_6 + m_7.$$

Untersuchungen haben gezeigt, daß ein Durchdrehen, das von hochfrequenten elastischen Resonanzschwingungen in den Transmissionswellen des Fahrwerks begleitet wird, beim üblichen elektrischen Antrieb sowohl ohne als mit elektrischer Kopplung auftritt. Dabei ist die maximale Amplitude der elektrischen Schwingungen ungefähr gleich (beim Rutschen ist sie etwas größer, bei $a_Z' \neq 0$). Die Durchdrehdauer wird bei Vorhandensein der elektrischen Kopplung 6- bis 7mal kleiner und die Rutschdauer 3- bis 4mal. Beim Durchdrehen des Antriebsrades (m_5) auf der Schiene auf einer Seite des Kranes wird die Belastung an der Motorwelle von *M 1* sprunghaft kleiner. Beim elektrischen Einzelantrieb ohne elektrische Kopplung steigt die Drehzahl dieses Motors stark an, und der mehrbelastete Motor *M 2*, der die Kranmasse in Bewegung bringt, läuft bedeutend langsamer als *M 1*. Das Durchdrehen ist erst beendet, wenn die Geschwindigkeiten aller sich bewegenden Massen gleich werden. Da aber die Motoren unabhängig voneinander arbeiten, setzt sich das Rutschen solange fort, bis die Drehzahl des Motors *M 2* mit der Masse des Kranes die Drehzahl von *M 1* erreicht hat (Bild 3a). Bei Vorhandensein einer elektrischen Kopplung kommt es hingegen sogar zu einer automatischen Ausregelung der Geschwindigkeitsdifferenz.

Schlußfolgerungen und Zusammenfassung

Die experimentellen Untersuchungen, die am realen Fahrwerk vorgenommen wurden, bestätigen die Ergebnisse der theoretischen Berechnungen und zeigen, daß ein elektrischer Antrieb mit elektrischer Kopplung der Antriebsmotoren gute dynamische Eigenschaften besitzt. Die dynamischen Führungskräfte in der Metallkonstruktion des Kranes und die Belastungen in den Transmissionswellen des Fahrwerkes lassen sich bedeutend verringern. Ebenso wird die Dauer des Durchdrehens und Rutschens eingeschränkt. Das führt zu einem verringerten Verschleiß der Laufteile des Kranes.

Literatur

[1] *Tišenke, V. I.:* Untersuchung der Dynamik von Kranen mit elektrischer Verbindung der Antriebsmotoren. Elektrotechnika, (1979) 10, S. 20 – 23

[2] *Balašov, V. P.:* Modellierung der Führungskräfte eines Brückenkranes Trudi VNIIPTMAŠ 103 (1970) 8, S. 117 – 128

EA 5462

Wir empfehlen aus dem Angebot des VEB Verlag Technik

Statistik für Elektrotechniker

Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik

Von *W. Hauschild; W. Mosch.* Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 1. Auflage. 268 Seiten, 185 Bilder, 56 Tafeln. Leinen 28,— Mark. Bestell-Nr. 553 208 6

Das Buch verknüpft die Methoden der mathematischen Statistik zur Planung und Auswertung von Experimenten mit den fachspezifischen Problemen der energetischen Elektrotechnik, insbesondere der Hochspannungstechnik. Die mathematischen Grundlagen werden ohne Ableitungen und Beweise in logischer Folge dargestellt und an zahlreichen Beispielen erläutert. Die Redaktion

Einfluß der Stromverdrängung in Asynchronkurzschlußläufermotoren auf die Erwärmung und das zulässige Drehmoment

P.-K. Budig, KDT; Karl-Marx-Stadt

1. Stromverdrängung im Rotor

Das Grundsätzliche zur Berechnung vor allem für Rechteckstäbe ist lange bekannt und in [1] dargestellt.

Im Fall von gegossenen Doppelkäfigläuferwicklungen können die Gln. (16), (17) und (18) aus [1] nicht zur Berechnung der K_r- und K_i-Faktoren benutzt werden. Hier bieten sich Methoden über die Berechnung mittels finiter Elemente oder finiter Differenzengleichungen an. Es ist auch ein grafisch-analytisches Verfahren anwendbar, bei dem die Nuten in praktisch stromverdrängungsfreie Abschnitte unterteilt sind.

Die Stromdichteverteilung ist stark frequenzabhängig. Vor allem bei höheren Frequenzen wird ein großer Teil der Oberwellenläuferströme in den Bereich des Nutschlitzes (h_s) gedrängt. Etwa 52% der im Rotor entstehenden Stromwärmeverluste entfallen z.B. bei 20-Hz-Grundwellenfrequenz und das dabei gewählte Pulsmuster auf den Bereich des Nutschlitzes. Entfällt dieser, so wird dessen Stromvolumen in den wesentlich widerstandsärmeren Oberstab gedrängt und erzeugt dort weitaus geringere Verluste.

Die sehr großen K_r-Faktoren sind für beachtliche Stromwärmeverluste durch Oberwellenströme verantwortlich.
Die Betrachtung zeigt deutlich, daß die Oberwellen noch immer beachtliche Verlustanteile hervorrufen. Es muß daher bei der Unterdrückung von Harmonischen durch Variation des Pulsmusters immer untersucht werden, welche neuen Oberwellen dadurch entstehen und welche Verluste sie bedingen. Diese Aussage ist zwar qualitativ allgemein gültig, zur quantitativen Aussage muß jedoch in jedem Fall eine genaue Berechnung angestellt werden.

Ergebnisse einer genauen Berechnung zeigt Tafel 1. Danach ergeben sich Verluste durch Oberwellen von vergleichbarer Größe.

Tafel 1. Stromwärmeverluste im Rotor durch Überwellenströme

f_1	= 20 Hz	30 Hz →
ν	= 31	47
f_ν	= 620 Hz	510 Hz
$k_{r\nu}$	= 18	17
$K_{i\nu}$	= 0,5	0,5
$U_{\nu 00}$*	= $0{,}8 \cdot U_1$	*$U_{\nu 00} = 0{,}4 \cdot U_1$
$I_{\nu 00}$	$= \frac{0{,}8\,U_1}{0{,}5 \cdot 31\,X_{1\sigma}} = 0{,}053\,I_1$	$I_{\nu 00} = \frac{0{,}04\,U_1}{0{,}5 \cdot 17\,K_{1\sigma}} = 0{,}47\,I_1$
$P_{\nu Cu\nu}$	$= (0{,}053 \cdot I_1)^2\,18\,R_1 = 0{,}04\,P_{\nu 1}$	$P_{\nu D U\nu} = (0{,}047 \cdot I_1)^2\,17\,R_1 = 0{,}038\,p_{\nu 1}$

* Der Wert ergab sich beim gewählten Pulsmuster aus der Fourieranalyse.

Aus den Betrachtungen folgt, daß Rotoren ohne Leitermaterial im Nutschlitz wesentlich geringere Rotorverluste und damit Erwärmungen der Maschine zur Folge haben und daß bei Kurzschlußläufermotoren die Rotorverluste und mit diesen die Erwärmung des Motors wesentlich durch den Nutschlitz beeinflußt werden.

2. Verluste im Betrieb

Die Verluste in Abhängigkeit vom Drehmoment bei konstanter Drehzahl und in Abhängigkeit von der Drehzahl bei konstantem Moment lassen deutlich werden, daß

— zusätzliche Eisenverluste klein sind
— zusätzliche Kupferverluste im Stator klein sind
— zusätzliche Verluste im Rotor groß sind.

Prof. Dr. sc. techn. *Peter-Klaus Budig*, ist Dekan der Fakultät für Elektroingenieurwesen an der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt.

Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung von Messung und Rechnung, wenn die Stromverdrängung in der beschriebenen Weise berücksichtigt wird.

3. Zulässiges Drehmoment

Infolge der zusätzlichen Verluste im Ständer und im Rotor tritt eine höhere Erwärmung der Asynchronmaschine auf. Gleichzeitig ändert sich das Wärmeabgabevermögen mit sinkender Drehzahl bei selbstbelüfteten Motoren. Für Verluste, Erwärmung und zulässiges Drehmoment bei getaktetem bzw. gepulstem Stromrichterbetrieb ergeben sich Tendenzen, aus denen deutlich wird, daß zwar normale Asynchronmaschinen eingesetzt werden können, daß diese jedoch im zulässigen Dauerdrehmoment zu reduzieren sind.
Das Ausmaß der Reduktion ist abhängig von

1. konstruktiven Bedingungen

1.1. Stromverdrängung im Stator durch Runddraht oder unterteilte Leiter minimierbar
1.2. Stromverdrängung im Rotor
durch leiterfreien Nutschlitz minimierbar; Doppelkäfigwicklung nicht erforderlich, da Anlauf mit f-U-Stellung erfolgt; es kann ein Rechteck- oder Trapezstab eingesetzt werden.
1.3. Spannungsspitzen bei Stromwechselrichter können thermische Auswirkungen haben, denen bei der Isolationsauswahl Rechnung zu tragen ist.

2. dem Stromrichterbetrieb

2.1. Bei Unterschwingungsverfahren sehr hohe Taktfrequenz wählen.
2.2. Bei gepulstem Betrieb (PWM) optimales Pulsmuster wählen.
2.3. Bei getaktetem Betrieb keine Einflußnahmemöglichkeit.

4. Kennzeichnung des harmonischen Gemisches

Es wird vorgeschlagen, ähnlich wie bei stromrichtergespeistem Gleichstrommotor den Begriff der Welligkeit einzuführen. Sie ist wie folgt definiert

$$w = \sqrt{\frac{a^2 - \bar{a}^2}{a^2}} \tag{1}$$

a Effektivwert

$\bar{a}$ Mittelwert $= \frac{1}{T} \int a_2(t)\,\mathrm{d}t$

oder vereinfacht

$$w = \sqrt{\frac{a^2 - a_1^2}{a_1^2}} \tag{2}$$

a_1 Effektivwert der Grundwelle

5. Betrieb des Motors am Spannungswechselrichter

Beim praktischen Betrieb mit Wechselrichtern wird die Zahl der Impulse je Halbwelle stets so gewählt, daß die maximale Pulsfrequenz der Wechselrichter möglichst gut ausgenutzt wird. Für die Pulszahl je Sekunde gilt

$$f_p = 2\,G\,f_1. \tag{3}$$

G Gangzahl (Zahl der Impulse je Halbwelle)

Wird anstelle der Eigenbelüftung eine Fremdbelüftung angewendet, so ist das Wärmeabgabevermögen im gesamten Drehzahlbereich konstant. Damit werden die Erwärmungswerte bei sinkender Motordrehzahl niedrig liegen, so daß höhere Drehmomente zulässig werden.

Mit den angestellten Betrachtungen lassen sich folgende Einflüsse auf die zulässigen Drehmomente erkennen:

— Nutzgeometrie des Rotors
— Gangzahl des Pulsmusters
— Form des Pulsmusters
— Wärmeabgabevermögen.

Es besteht also ein sehr enger Zusammenhang zwischen Motorbemessung und Wechselrichterbetriebsweise.

BASIC-orientierte Kleinstrechner in der Ingenieurpraxis

Ergänzung

zum Beitrag von *B. Oswald, P. Schubert* u. a.:

Lösung linearer Gleichungssysteme am Beispiel einfacher Netzwerke

ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 6, S. 229—232

Die Autoren dieses im Rahmen unserer Beitragsreihe „BASIC-orientierte Kleinstrechner in der Ingenieurpraxis" erschienenen Aufsatzes weisen darauf hin, daß die auf S. 230 vorgestellte Cholesky-Prozedur auf einigen wenigen Rechnern nicht läuft.

Schreiben Sie deshalb bitte statt

```
2320 S = S — W (J) * M (I, J)
```

besser

```
2320 IF J < = K THEN LET S = S — W (J) * M (I, J).
```

Wir danken Herrn Prof. *H. Völz* von der Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, für den aufgeworfenen wissenschaftlichen Meinungsstreit und sein förderndes Interesse.

Die Redaktion

Hinweis der Redaktion

Interessenten, die sich in die BASIC-Problematik einarbeiten wollen, empfehlen wir die Fortsetzungsreihe

BASIC Schritt für Schritt

die ab Heft 9/1985 in der Fachzeitschrift **Feingerätetechnik** des VEB Verlag Technik veröffentlicht wird.

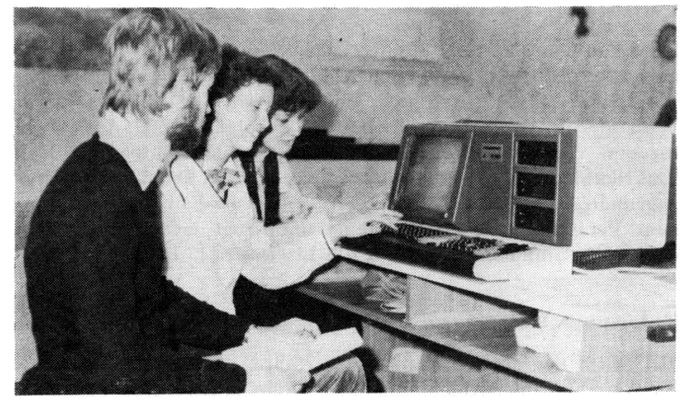


Foto: fg

6. Zusammenfassung

Stromrichtergespeiste Asynchronmotoren werden thermisch höher belastet als bei Betrieb am Netz. Das hat zur Folge, daß zusätzliche Erwärmung auftritt und daher ist eine neue Zuordnung des Drehmoments in Abhängigkeit von der Drehzahl erforderlich.
Zur Kennzeichnung der Abweichung der Ströme bzw. Spannungen von der sin-Form wird vorgeschlagen, den Begriff der Welligkeit zu benutzen.

Literatur

[1] *Budig, P.-K.:* Drehzahlgeregelte Drehstromasynchronmotoren. ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 11, S. 416 – 419
[2] *Budig, P.-K.: Zimmermann, R.; Muster, J.:* Beanspruchung von Asynchronmaschinen durch Stromrichterspeisung. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 9, S. 463 bis 466
[3] *Budig, P.-K.; Zimmermann, R.; Muster, J.:* Theoretische Vorausbestimmung des Betriebsverhaltens stromrichtergespeister Asynchronmaschinen. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 10, S. 507 – 510
[4] *Budig, P.-K.:* Beitrag zur harmonischen Analyse der Ströme und Spannungen von Pulswechselrichtern. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 7, S. 364 – 367
[5] *Muster, J.:* Dissertation TH Karl-Marx-Stadt 1983

EA 5535

Einfache BASIC-Programme für ausgewählte statistische Prüfverfahren

K.-H. Kunckel, KDT; E. Bunzel, KDT; U. Münch, KDT; B. Oswald, KDT; E. Paulig, KDT; P. Schubert, KDT

1. Einführung in die Problematik

Bei vielen Problemen der Meß- und Prüftechnik reicht es nicht aus, das vorliegende, meist sehr umfangreiche Material in Form von Daten lediglich durch eine Häufigkeitsverteilung oder durch Maßzahlen wie Mittelwert, Varianz, mittlere quadratische Abweichung und mittlerer Fehler des Mittelwertes zu beschreiben, vielmehr will man folgende Fragen beantwortet wissen:

- In welchen Grenzen kann man dem aus einer Stichprobe geschätzten Mittelwert vertrauen?
- Ist der Mittelwert einer Stichprobe nur zufällig anders als ein Sollwert?
- Inwieweit kann aus den Mittelwerten eines Merkmals gewonnen aus zwei Stichproben auf wesentliche Unterschiede geschlossen werden?

Solche und eine Vielzahl ähnlich gelagerter Probleme, wie die Frage nach der zufälligen oder wesentlichen Natur der Abweichungen von Varianzen, Häufigkeiten und Verteilungen sind Gegenstand der Prüfstatistik. Der vorliegende Beitrag verfolgt das Ziel, Anregungen für den vorteilhaften Einsatz von Personalcomputern an Hand praktikabler Programmbeispiele zu vermitteln. Die den Problemen zugrunde liegende Mathematik wird nur insoweit behandelt, wie es zum Verständnis des Programms unbedingt erforderlich ist. In diesem Zusammenhang sei auf die Literatur [1] bis [5] verwiesen.

2. Lösungsstrategie

Mit Hilfe der statistischen Prüfverfahren entscheidet man über die Annahme oder Ablehnung einer **Nullhypothese.** Dabei muß man immer bedenken, daß die Annahme der Nullhypothese nichts weiter heißt, als diese der **Alternativhypothese** vorzuziehen. Damit ist aber nicht gesagt, daß dieser, an Hand einer **Stichprobe** vom Umfang n getroffene Entscheid in **jedem** Falle richtig ist, vielmehr besteht die Möglichkeit eines Irrtums. Man führt diese Entscheidung deshalb auf einem bestimmten **Signifikanzniveau** α (Irrtumswahrscheinlichkeit) bzw. auf einem bestimmten **Konfidenzniveau** ε (Vertrauensniveau) herbei. Typische Werte sind:
$\alpha = 0{,}05$ oder 0,01 bzw. $\varepsilon = 0{,}95$ oder 0,99. Für die Entscheidung über die Annahme oder Ablehnung der Nullhypothese bildet man eine, die Stichprobe verarbeitende geeignete Testgröße, deren Verteilung unter der Voraussetzung der Gültigkeit der Nullhypothese bekannt ist. Für eine konkrete Stichprobe ergibt sich dementsprechend eine Realisierung dieser Testgröße. Als Prüfverteilungen für die Testgröße verwendet man entweder die Normalverteilung oder andere Verteilungen, die eine normalverteilte Grundgesamtheit voraussetzen. Diese sind:

— die t-Verteilung nach *Student*
— die F-Verteilung nach *Fisher* und
— die χ^2-Verteilung nach *Pearson*.

Dr.-Ing. *Karl-Heinz Kunckel* ist Dozent, Dr. sc. techn. *Eckehard Bunzel* ist wissenschaftlicher Oberassistent, Dipl.-Ing. *Ulrich Münch* ist wissenschaftlicher Assistent, Dr. sc. techn. *Bernd Oswald* ist wissenschaftlicher Oberassistent, Prof. Dr. sc. techn. *Eberhard Paulig* ist Inhaber des Lehrstuhls Starkstromtechnik, Dr.-Ing. et Dr. sc. phil. *Peter Schubert* ist wissenschaftlicher Oberassistent an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik.

Für die nachfolgend vorgestellten Rechenprogramme sind Beispiele gewählt worden, die sich als Prüfverteilung generell der t-Verteilung bedienen, die, wie auch die F- und die χ^2-Verteilung, neben der Irrtumswahrscheinlichkeit α den Umfang der Stichprobe n berücksichtigt. Mit wachsendem n wird die t-Verteilung der Normalverteilung immer ähnlicher und geht für $n \to \infty$ in diese über. Die für die Entscheidung über die Annahme oder Ablehnung der Nullhypothese notwendigen Quantile $t_{m;q}$ liegen in den entsprechenden Tafelwerken vor. Der Freiheitsgrad m und die Ordnung q lassen sich elementar aus dem Umfang der Stichprobe und dem Signifikanz- bzw. Konfidenzniveau bestimmen. Für die rechentechnische Umsetzung statistischer Prüfverfahren mit Hilfe der t-Verteilung erweist es sich als sinnvoll, nicht ganze Tafelwerke der Quantile $t_{m;q}$ in den Rechner zu laden, sondern diese durch eine asymptotische Beziehung jeweils berechnen zu lassen. Verwendet wurde die Entwicklung von *Cornish-Fisher:*

$$t_{m;q} \approx \lambda_q + \frac{\lambda_q(\lambda_q^2+1)}{4\,m} + \frac{\lambda_q(5\,\lambda_q^4 + 16\,\lambda_q^2 + 3)}{96\,m^2} \qquad (1)$$

mit der die Werte $t_{m;q}$ aus den Quantilen λ_q der Normalverteilung vorteilhaft bestimmt werden können. Beschränkt man sich wie in den vorliegenden Programmen auf zweiseitige Tests, dann gilt für die Ordnung q:

$$q = 1 - \frac{\alpha}{2} \text{ bzw. } q = \frac{1+\varepsilon}{2}, \qquad (2)$$

so daß man mit den Vorzugswerten für α bzw. ε erhält:

$\alpha = 0{,}05$, $\varepsilon = 0{,}95$ $\quad q = 0{,}975 \to \lambda_q = 1{,}959964$

$\alpha = 0{,}01$, $\varepsilon = 0{,}99$ $\quad q = 0{,}995 \to \lambda_q = 2{,}575829.$

Die folgenden 3 Rechenprogramme beziehen sich auf die Beantwortung der einführend aufgeworfenen Fragestellungen. Es muß nicht

Bild 1. Programmlisting „STATISTIK 1" Bestimmung der Vertrauensgrenzen eines Mittelwertes

```
10 REM ********************************
15 REM * NAME: STATISTIK 1            *
20 REM * DIESES PROGRAMM BERECHNET    *
25 REM * DAS ZWEISEITIGE KONFIDENZ-   *
30 REM * INTERVALL FUER DEN MITTEL-   *
35 REM * WERT MUE EINER NORMALVER-    *
40 REM * TEILTEN GRUNDGESAMTHEIT ZUM  *
45 REM * KONFIDENZNIVEAU EPSILON AN   *
50 REM * HAND EINER STICHPROBE DES    *
55 REM * UMFANGS N                    *
60 REM ********************************
100 INPUT"UMFANG DER STICHPROBE";N
110 DIM X(N)
120 FOR I=1 TO N: INPUT X(I): NEXT I
130 OPEN1,4
140 FOR I=1 TO N: PRINT#1,I,X(I): NEXT I
150 CLOSE1
160 X=0
170 FOR I=1 TO N: X=X+X(I): NEXT I
180 X=X/N
190 SQ=0
200 FOR I=1 TO N: SQ=SQ+(X(I)-X)*(X(I)-X): NEXT I
210 SQ=SQ/(N-1): S=SQR(SQ): SM=S/SQR(N)
220 PRINT"WELCHES KONFIDENZNIVEAU WIRD GEWUENSCHT?"
230 PRINT"ZUR AUSWAHL STEHEN: 0.95 UND 0.99"
240 INPUT"KONFIDENZNIVEAU";EPS
250 IF EPS=0.95 THEN GOTO270
260 LAMQ=2.575829: GOTO280
270 LAMQ=1.959964
280 T=LAMQ+LAMQ*(LAMQ↑2+1)/(4*(N-1))
290 T=T+LAMQ*(5*LAMQ↑4+16*LAMQ↑2+3)/(96*(N-1)↑2)
300 G1=X-T*SM: G2=X+T*SM
310 OPEN2,4
320 PRINT#2," "
330 PRINT#2,"UMFANG DER STICHPROBE                    ";N
340 PRINT#2,"MITTELWERT                               ";X
350 PRINT#2,"VARIANZ                                  ";SQ
360 PRINT#2,"MITTLERE QUADRATISCHE ABWEICHUNG         ";S
370 PRINT#2,"KONFIDENZNIVEAU                          ";EPS
380 PRINT#2,"OBERE KONFIDENZGRENZE                    ";G2
390 PRINT#2,"UNTERE KONFIDENZGRENZE                   ";G1
400 CLOSE2: END

READY.
```

besonders betont werden, daß je nach Typ des verwendeten Rechners eine meist geringfügige Modifikation der Befehlssynthax vorzunehmen ist.

3. Programmbeschreibungen

3.1. Programm: STATISTIK 1

Dieses Programm berechnet das zweiseitige Konfidenzintervall für den Mittelwert μ einer $N(\mu, \sigma^2)$-verteilten Grundgesamtheit zum Konfidenzniveau ε an Hand einer Stichprobe des Umfangs n. Aus der Stichprobe sind zunächst der Mittelwert $\bar{x}$ und die mittlere quadratische Abweichung s gemäß

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \tag{3}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} \tag{4}$$

zu schätzen. Mit dem Quantil der t-Verteilung

$$t_{m;q} = t_{n-1;\frac{1+\varepsilon}{2}} \tag{5}$$

ergeben sich die beiden Grenzen des zweiseitigen Konfidenzintervalls zu:

$$g_1 = \bar{x} - t_{n-1;\frac{1+\varepsilon}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}} \tag{6}$$

$$g_2 = \bar{x} + t_{n-1;\frac{1+\varepsilon}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}}. \tag{7}$$

Das Programmlisting ist aus Bild 1 zu entnehmen. Eine detaillierte Beschreibung des Programmablaufs ist wegen seiner Einfachheit sicherlich nicht nötig, zumal die Namen der Programmvariablen mit denen der mathematischen Größen weitestgehend identisch sind oder bei der Lektüre sofort verständlich werden.
Als Rechenbeispiel, der Ergebnisdruck ist im Bild 2 dargestellt, wurde folgende Messung ausgewertet:

Ein Widerstand R wurde 13 mal gemessen. Zu bestimmen ist der Mittelwert $\overline{R}$ und seine zweiseitigen Vertrauensgrenzen für eine statistische Sicherheit von 95%.

3.2. Programm: STATISTIK 2

Das Programm realisiert den t-Test zur Prüfung eines Mittelwertes. Geprüft wird die Hypothese $H: \mu = \mu_0$ über den Mittelwert μ einer $N(\mu, \sigma^2)$-verteilten Grundgesamtheit bei unbekannter Streuung $\sigma^2 (> 0)$ an Hand einer Stichprobe $(x_1 \cdots x_n)$ vom Umfang n mittels der Testgröße

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sqrt{s^2}} \sqrt{n}. \tag{8}$$

Der Mittelwert $\bar{x}$ und die Varianz s^2 ergeben sich aus den Gleichungen (3) und (4). Bei einem zweiseitigen Test zum Signifikanzniveau α wird die Hypothese H abgelehnt, falls

Bild 2. Ergebnisdruck eines Rechenbeispiels zum Programm: ,,STATISTIK 1"

```
 1            10.1
 2            9.7
 3            9.3
 4            9.9
 5            10.5
 6            10.3
 7            10.7
 8            10
 9            9.9
 10            10.4
 11           9.5
 12           9.3
 13           9.6

UMFANG DER STICHPROBE                  13
MITTELWERT                             9.93846155
VARIANZ                                .204230769
MITTLERE QUADRATISCHE ABWEICHUNG       .451918985
KONFIDENZNIVEAU                        .95
OBERE KONFIDENZGRENZE                  10.2113581
UNTERE KONFIDENZGRENZE                 9.66556503
```

```
10 REM ********************************
15 REM * NAME: STATISTIK 2            *
20 REM * T-TEST ZUR PRUEFUNG EINES    *
25 REM * MITTELWERTES - GEPRUEFT WIRD *
30 REM * DIE HYPOTHESE H: MUE=MUE0    *
35 REM * UEBER DEN MITTELWERT MUE     *
40 REM * EINER NORMALVERTEILTEN GRUND-*
45 REM * GESAMTHEIT AN HAND EINER     *
50 REM * STICHPROBE DES UMFANGS N     *
55 REM ********************************
100 INPUT"UMFANG DER STICHPROBE";N
110 DIM X(N)
120 FOR I=1 TO N: INPUT X(I): NEXT I
130 OPEN 1,4
140 FOR I=1 TO N: PRINT#1,I,X(I): NEXT I
150 CLOSE 1
160 X=0
170 FOR I=1 TO N: X=X+X(I): NEXT I
180 X=X/N
190 SQ=0
200 FOR I=1 TO N: SQ=SQ+(X(I)-X)*(X(I)-X): NEXT I
210 SQ=SQ/(N-1): S=SQR(SQ)
220 PRINT"AN WELCHEM SOLLWERT MUE0 SOLL"
230 PRINT"DIE PRUEFUNG DES MITTELWERTES"
240 PRINT"DER STICHPROBE ERFOLGEN?"
250 INPUT"SOLLWERT";MUE0
260 PRINT"ZU WELCHEM SIGNIFIKANZNIVEAU ALPHA"
270 PRINT"-ZUR AUSWAHL STEHEN: 0.05 UND 0.01-"
280 PRINT"SOLL DER ZWEISEITIGE TEST ERFOLGEN?"
290 INPUT"SIGNIFIKANZNIVEAU";ALPHA
300 IF ALPHA=0.05 THEN GOTO 320
310 LAMQ=2.575829: GOTO 330
320 LAMQ=1.959964
330 T=LAMQ+LAMQ*(LAMQ↑2+1)/(4*(N-1))
340 T=T+LAMQ*(5*LAMQ↑4+16*LAMQ↑2+3)/(96*(N-1)↑2)
350 TE=ABS((X-MUE0)*SQR(N)/S)
360 OPEN 2,4
370 PRINT#2," "
380 PRINT#2,"UMFANG DER STICHPROBE                    ";N
390 PRINT#2,"MITTELWERT                               ";X
400 PRINT#2,"VARIANZ                                  ";SQ
410 PRINT#2,"MITTLERE QUADRATISCHE ABWEICHUNG         ";S
420 PRINT#2,"SOLLWERT                                 ";MUE0
430 PRINT#2,"SIGNIFIKANZNIVEAU                        ";ALPHA
440 IF TE>T THEN GOTO 480
450 PRINT#2,"ZWISCHEN DEM MITTELWERT DER"
460 PRINT#2,"STICHPROBE UND DEM SOLLWERT"
470 PRINT#2,"BESTEHEN ZUFAELLIGE UNTERSCHIEDE"
475 GOTO 510
480 PRINT#2,"ZWISCHEN DEM MITTELWERT DER"
490 PRINT#2,"STICHPROBE UND DEM SOLLWERT"
500 PRINT#2,"BESTEHEN SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE"
510 CLOSE 2: END

READY.
```

Bild 3. Programmlisting ,,STATISTIK 2" Prüfung eines Mittelwertes

$$|t| > t_{n-1;\,1-\frac{\alpha}{2}} \tag{9}$$

erfüllt ist.
Das Programmlisting ist aus Bild 3 zu entnehmen. Als Rechenbeispiel wurde folgende Qualitätskontrolle ausgewertet: An 15 Proben eines weichmagnetischen Elektroblechs wurden die Verlustziffern V_{10} gemessen. Der Sollwert beträgt 1 W/kg. Sind bei einem Signifikanzniveau von 5% die vorliegenden Abweichungen zufällig?
Der Ergebnisdruck ist im Bild 4 dargestellt.

Bild 4. Ergebnisdruck eines Rechenbeispiels zum Programm: ,,STATISTIK 2"

```
 1            .9
 2            .9
 3            .9
 4            1
 5            1
 6            1
 7            1.1
 8            1.1
 9            1
 10           1
 11           1.2
 12           1.2
 13           1.2
 14           1.2
 15           1.2

UMFANG DER STICHPROBE                  15
MITTELWERT                             1.06
VARIANZ                                .014
MITTLERE QUADRATISCHE ABWEICHUNG       .118321596
SOLLWERT                               1
SIGNIFIKANZNIVEAU                      .05
ZWISCHEN DEM MITTELWERT DER
STICHPROBE UND DEM SOLLWERT
BESTEHEN ZUFAELLIGE UNTERSCHIEDE
```

3.3. Programm: STATISTIK 3

Das Programm realisiert den doppelten t-Test zur Prüfung zweier Mittelwerte. Geprüft wird die Hypothese H: $\mu_x = \mu_y$ über die Gleichheit der Mittelwerte μ_x und μ_y zweier $N(\mu, \sigma^2)$-verteilter Grundgesamtheiten bei unbekannten, aber gleichen (nicht signifikant unterschiedlichen) Steuungen $\sigma_x^2 = \sigma_y^2$ an Hand zweier unabhängiger Stichproben $(x_1 \cdots x_{n1})$ und $(y_1 \cdots y_{n2})$ der Umfänge n_1 und n_2 mittels der Testgröße

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)\, s_x^2 + (n_2 - 1)\, s_y^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}. \tag{10}$$

Die Mittelwerte $\bar{x}$ und $\bar{y}$ sowie die mittleren quadratischen Abweichungen s_x und s_y ergeben sich sinngemäß aus den Gleichungen (3) und (4). Die Größe t besitzt bei Gültigkeit von H eine t-Verteilung mit $m = n_1 + n_2 - 2$ Freiheitsgraden. Bei einem zweiseitigem Test zum Signifikanzniveau α wird die Hypothese H abgelehnt, falls

Bild 5. Programmlisting „STATISTIK 3" Vergleich zweier Mittelwerte

```
10 REM ********************************
12 REM * NAME: STATISITK 3            *
15 REM * DOPPELTER T-TEST ZUM VER-    *
20 REM * GLEICH ZWEIER MITTELWERTE    *
25 REM * GEPRUEFT WIRD DIE HYPOTHESE  *
30 REM * H: MUEX = MUEY UEBER DIE     *
35 REM * GLEICHHEIT DER MITTELWERTE   *
40 REM * ZWEIER NORMALVERTEILTER      *
45 REM * GRUNDGESAMTHEITEN MIT UNBE-  *
50 REM * KANNTEN ABER GLEICHEN STREU- *
55 REM * UNGEN AN HAND ZWEIER UNAB-   *
60 REM * HAENGIGER STICHPROBEN DER    *
65 REM * UMFAENGE N1 UND N2           *
70 REM ********************************
100 INPUT"UMFANG DER STICHPROBE 1";N1
110 DIM X(N1)
120 FOR I=1 TO N1: INPUT X(I): NEXT I
130 INPUT"UMFANG DER STICHPROBE 2";N2
140 DIM Y(N2)
150 FOR J=1 TO N2: INPUT Y(J): NEXT J
160 OPEN 1,4
170 PRINT#1,"STICHPROBE 1"
180 FOR I=1 TO N1: PRINT#1,I,X(I): NEXT I
190 PRINT#1,"STICHPROBE 2"
200 FOR J=1 TO N2: PRINT#1,J,Y(J): NEXT J
210 CLOSE 1
220 X=0
230 FOR I=1 TO N1: X=X+X(I): NEXT I
240 X=X/N1
250 SXQ=0
260 FOR I=1 TO N1: SXQ=SXQ+(X(I)-X)*(X(I)-X): NEXT I
270 SXQ=SXQ/(N1-1): S1=SQR(SXQ)
280 Y=0
290 FOR J=1 TO N2: Y=Y+Y(J): NEXT J
300 Y=Y/N2
310 SYQ=0
320 FOR J=1 TO N2: SYQ=SYQ+(Y(J)-Y)*(Y(J)-Y): NEXT J
330 SYQ=SYQ/(N2-1): S2=SQR(SYQ)
340 PRINT"WELCHES SIGNIFIKANZNIVEAU WIRD"
350 PRINT"FUER DEN ZWEISEITIGEN TEST GEWUENSCHT?"
360 PRINT"-ZUR AUSWAHL STEHEN: 0.05 UND 0.01"
370 INPUT"SIGNIFIKANZNIVEAU";ALPHA
380 IF ALPHA=0.05 THEN GOTO 400
390 LAMQ=2.575829  GOTO 410
400 LAMQ=1.959964
410 M=N1+N2-2
420 T=LAMQ+LAMQ*(LAMQ12+1)/(4*M)
430 T=T+LAMQ*(5*LAMQ14+16*LAMQ12+3)/(96*M12)
440 TE=(X-Y)*SQR(N1*N2/(N1+N2))
450 TE=TE/SQR((N1-1)*SXQ+(N2-1)*SYQ)
460 TE=ABS(TE*SQR(N1+N2-2))
470 OPEN 2,4
480 PRINT#2," "
490 PRINT#2,"STICHPROBE 1"
500 PRINT#2,"UMFANG DER STICHPROBE 1                ";N1
510 PRINT#2,"MITTELWERT                             ";X
520 PRINT#2,"VARIANZ                                ";SXQ
530 PRINT#2,"MITTLERE QUADRATISCHE ABWEICHUNG       ";S1
540 PRINT#2," "
550 PRINT#2,"STICHPROBE 2"
560 PRINT#2,"UMFANG DER STICHPROBE 2                ";N2
570 PRINT#2,"MITTELWERT                             ";Y
580 PRINT#2,"VARIANZ                                ";SYQ
590 PRINT#2,"MITTLERE QUADRATISCHE ABWEICHUNG       ";S2
600 PRINT#2," "
610 PRINT#2,"SIGNIFIKANZNIVEAU                      ";ALPHA
620 IF TE>T THEN GOTO 660
630 PRINT#2,"ZWISCHEN DEN BEIDEN MITTELWERTEN"
640 PRINT#2,"BESTEHEN ZUFAELLIGE UNTERSCHIEDE"
650 GOTO 680
660 PRINT#2,"ZWISCHEN DEN BEIDEN MITTELWERTEN"
670 PRINT#2,"BESTEHEN SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE"
680 CLOSE 2: END

READY.
```

```
STICHPROBE 1
 1            14
 2            3
 3            8
 4            19
 5            24
 6            2
 7            7
 8            11
 9            17
 10            10
 11           5
 12           2
STICHPROBE 2
 1            17
 2            21
 3            16
 4            11
 5            5
 6            1
 7            8
 8            13
 9            18
 10            22
 11            22
 12            19
 13            3
 14            8
 15            13

STICHPROBE 1
UMFANG DER STICHPROBE 1                    12
MITTELWERT                                 10.1666667
VARIANZ                                    50.6969697
MITTLERE QUADRATISCHE ABWEICHUNG           7.12010046

STICHPROBE 2
UMFANG DER STICHPROBE 2                    15
MITTELWERT                                 13.1333333
VARIANZ                                    48.1238095
MITTLERE QUADRATISCHE ABWEICHUNG           6.93713267

SIGNIFIKANZNIVEAU                          .05
ZWISCHEN DEN BEIDEN MITTELWERTEN
BESTEHEN ZUFAELLIGE UNTERSCHIEDE
```

Bild 6. Ergebnisdruck eines Rechenbeispiels zum Programm: „STATISTIK 3"

$$|t| > t_{m;\,1-\frac{\alpha}{2}} \tag{11}$$

erfüllt ist.

Das Programmlisting ist aus Bild 5 zu entnehmen. Als Rechenbeispiel wurde die Auswertung einer studentischen Leistungskontrolle gewählt. Zwei Studienmatrikel unterziehen sich der gleichen Prüfungsklausur. Die Stichprobenergebnisse in Form von Punkten sind aus dem Ergebnisdruck Bild 6 ersichtlich. Zu prüfen war, ob sich die Studienmatrikel bei Berücksichtigung einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% hinsichtlich ihres Leistungsvermögens wesentlich unterscheiden. Die Ergebnisse zeigen, daß der Schluß — Matrikel 2 ist signifikant besser als Matrikel 1 — aus den jeweiligen Stichproben nicht gezogen werden darf.

4. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit zeigt an Hand von 4 einfachen BASIC-Programmen, wie statistische Prüfverfahren, wie sie in Technik, Ökonomie, Medizin und vielen anderen Arbeitsgebieten häufig anfallen, mit Hilfe eines Personalcomputers vorteilhaft bewältigt werden können. Sie sollen Anregungen für diejenigen darstellen, die sich bislang selten mit statistischen Problemen auseinandergesetzt haben, um im Bedarfsfall eine Vielzahl von Meß- und Prüfergebnissen geeignet aufzubereiten.

Literatur

[1] *Hauschild, W.; Mosch, W.:* Statistik für Elektrotechniker. Berlin: VEB Verlag Technik, 1984

[2] *Müller, H. P.; Neumann, P.; Storm, R.:* Tafeln der mathematischen Statistik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag, 1973

[3] *Härtler, G.:* Statistische Methoden für die Zuverlässigkeitsanalyse. Berlin: VEB Verlag Technik 1983

[4] Kleine Enzyklopädie Mathematik. Leipzig: VEB Bibliographisches Institut, 1968

[5] *Sachs, L.:* Statistische Auswertungsmethoden. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1968

EA 5645

KURZBERICHTE

Neue standardisierte Festlegungen für die Realisierung von Automatisierungsanlagen mit Mikroelektronik

Fortsetzung von S. 4

2. Kennzeichnungen von Betätigungs- und Anzeigeelementen

Für elektrotechnische Anlagen sowie für Automatisierungsanlagen gelten für die Kennzeichnung von Betätigungs- und Anzeigeelemente die Festlegungen nach TGL 30108 [6], TGL 13097 [8] und für Anlagen zentralgesteuerter Prozesse die speziellen Ergänzungen nach TGL 12468 [9].

Mit der Überarbeitung des GAB-Standards TGL 30108/02 [7] wurden allgemeine Kennzeichnungspflichten präzisiert und konnten deshalb für den Bereich der Elektrotechnik aus [8] herausgenommen werden. Sie betreffen die zulässigen Kennzeichnungsarten, deren zulässigen Kombinationen und Anwendungen. TGL 30108/02 gibt als zulässige Kennzeichnungsarten die Bildzeichen, Aufschriften, Farben und Form (Oberflächenbeschaffenheit, Abmessungen) an, nennt die vorrangig anzuwendenden Arten in der Reihenfolge Bildzeichen, Aufschriften, Farben und läßt eine Kombination von Bildzeichen und Aufschriften für gleiche Bedeutungen nicht zu. Aufschriften dürfen nur angewendet werden, wenn Bildzeichen nicht eindeutig erkannt, unterschieden und/oder interpretiert werden können. Eine Kennzeichnung durch auffallende Formen ist vorrangig kombiniert mit Bildzeichen anzuwenden sowie wenn Betätigungselemente ohne ständige visuelle Kontrolle betätigt werden müssen und andere Kennzeichnungsarten nicht eindeutig wahrgenommen werden können. Sie können z.B. in Pilzform als Drucktaster mit der Funktion „NOT AUS" oder „STOP" mit einem gelben Umfeld ausgeführt werden und für Tagebaugeräte ist abweichend ein rotes Umfeld zulässig. Ebenso wurde in [7] bei der kombinierten Kennzeichnung der im Anlagenbau übliche Zeitverlauf von Signalen (Dauer- oder Blinklicht) sowie dessen Bedeutungen erweitert. Danach sollten, z.B. Signale zur Rückmeldung oder Bestätigung von Schalthandlungen von Dauerlicht, außer bei Anwendung der Farbe Grün, in Blinklicht nur überführt werden, um die Zustände Warnung, Störung oder Achtung anzuzeigen und es können zur Anzeige von kritischen Zuständen (Gefahr, Alarm, Warnung, Störung, Achtung) zusätzlich quittierbare akustische Signale verwendet werden.

TGL 13097 [8] wurde ebenfalls im gleichen Zeitraum überarbeitet und der IEC 73-75 [10] z.B. durch Einführung der Farbe Grau für die Tasterkennzeichnung angeglichen. Darüber hinaus sind Festlegungen zum verstärkten Einsatz von Lichtemitterdioden (LED) sowie zur Präzisierung der für Taster und Leuchtmelder verwendeten funktionsbezogenen Farbkennzeichnung dahingehend getroffen, daß lediglich die zulässigen Farben und deren mögliche Funktionen und nicht deren Anwendungsfälle standardisiert wurden. Für in Automatisierungsanlagen eingesetzte Taster gelten ebenfalls die funktionsbezogenen Farbkennzeichen nach Tafel 1, jedoch nicht für Taster in Tastaturen für die Prozeßleittechnik mit digitaler Informationsverarbeitung und bei EDV. Bei den anzuwendenden Farben für Anzeigeelemente wurde der Einsatz von LED eingearbeitet und festgestellt, daß z.Z. bei dem möglichen Diodenangebot keine Farbeinschränkung notwendig wird und damit jede Funktion angezeigt werden kann, sofern dafür nicht die Farbe Rot bei Gefahr oder Alarm bzw. Gelb bei Vorsicht oder Achtung zu verwenden ist. Die Farbe Gelb darf in Ausnahmefällen auch für andere Zwecke z.B. zur Anzeige von Prozeßzuständen innerhalb von abgedeckten Gefäßen jedoch nur dann verwendet werden, wenn es dadurch zu keiner Beeinträchtigung für das Bedienungspersonal oder die Funktionsfähigkeit der Anlagen kommt.

Als dritte überarbeitete Vorschrift zu diesem Komplex wurde zu TGL 12468 [9] das 1. Änderungsblatt vom Mai 1985 herausgegeben, um die neuen Erkenntnisse, die beim Mikrorechnereinsatz in Automatisierungsanlagen, z.B. beim System audatec, gewonnen wurden, einzuarbeiten und dem standardgerechten Einsatz von Bildschirmeinheiten und Lichtemitterdioden in der Prozeßführung mit digitaler Informationsverarbeitung zu ermöglichen. In [9] wurde daher ergänzt, daß die generelle Anwendung des Standards auch für Farbbildschirmeinheiten gilt. Einschränkungen bzw. Ergänzungen sind lediglich gegeben beim Einsatz von Farbbildschirmeinheiten

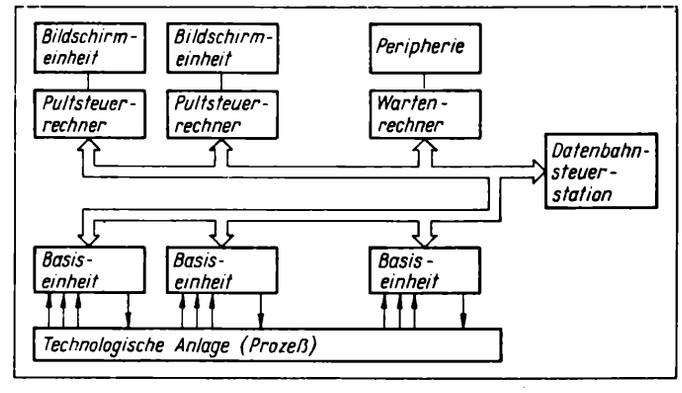
- mit statischen Bildelementen, wo Farbumschaltungen zur Anzeige von Betriebszuständen, z.B. zur Darstellung von Material- und Energieflüssen, für Aggregate und Behälter, nicht zulässig sind.
- Es dürfen bei der Darstellung in Anzeigen Betriebszustände nur über die veränderlichen Informationen, z.B. Textangaben, in den zulässigen Farben des Standards signalisiert werden.
- Störungen in Mikrorechnerfunktionseinheiten dürfen mit der Farbe Cyan (Hellblau) signalisiert werden.

3. Grundlagen für Automatisierungsanlagen

Im Standardkomplex TGL 32991 wurden 1985 die Teile 02 und 11 [11] [12] für die Bereiche Begriffe und Einsatz von Gefäßen in Automatisierungsanlagen überarbeitet und ebenfalls die Einführung der mikrorechnerorientierten Automatisierungssysteme, z.B. audatec und GAA 5000 standardtechnisch vorbereitet.

Die in TGL 32991/02 [11] festgelegten Begriffe für die Projektierung, Fertigung, Montage und Inbetriebnahme von Automatisierungsanlagen wurden in ihren Definitionen

Bild 2
Beispiel für die Struktur einer Automatisierungsanlage mit Rechner-Funktionseinheiten



Tafel 1. Farbkennzeichnung von Bedienelementen nach TGL 13097

Farbe	Funktionen	Anwendungsbeispiele
Rot	– Bedienung im Gefahrenfall – Halt – Aus	– Not – Aus – Brandbekämpfung – Halt für Motore – Rückstellen in Verbindung mit Halt – Ausschalten von Geräten
Gelb	– Eingriff erforderlich	– Unterbrechung von Stell-, Anfahr- und Abfahrvorgängen – Aufforderung zum Schalten kritischer Vorgänge
Grün	– Start – Ein – Taster, die beim Betätigen eine Bewegung und beim Loslassen den Halt dieser Bewegung bewirken	– Anfahren, Abfahren eines Anlagenteils – Einschalten – Tippbetrieb – Feineinstellung
schwarz, weiß, grau	– Taster, die beim Betätigen eine Bewegung und beim Loslassen den Halt dieser Bewegung bewirken – Jede Funktion, sofern dafür nicht die Farbe Rot oder Gelb zu verwenden ist – Taster für Ein/Aus (Start/Halt) bei wiederholter Betätigung (Drucktaster) – Rückstellvorgänge	– Tippbetrieb – Feineinstellung – Fußschalter für Beleuchtung – Rückstellung von Schutzrelais – Steuerquittierschalter – Maschine in Betrieb
Blau	– Rückstellvorgänge – Jede Funktion sofern dafür nicht die Farbe Rot, Gelb oder Grün zu verwenden ist	– Rückstellung von Schutzrelais – Drehzahlvorwahl – Stellglieder geschlossen (Schieber, Ventile, Klappen)

dem neuesten Stand der Technik angepaßt sowie um einige im Anlagenbau geläufige spezielle Begriffe zur Struktur, Software und zu den Bestandteilen von Mikrorechner-Funktionseinheiten erweitert. Dazu gehören die in der Struktur nach Bild 2 eingeordneten Bestandteile einer Automatisierungsanlage mit Rechnerfunktionseinheiten sowie Begriffe der Software, wie Basismodul, Verarbeitungskette und Strukturierung. Der Abschnitt des Standards über angewandte Symbole entfiel und die Festlegungen dazu sollen in andere Standards z.B. TGL 14091 [13] überführt werden.

Mit der Einführung der mikrorechnerorientierten Automatisierungssysteme im Anlagenbau ergab sich gleichzeitig die Notwendigkeit der Entwicklung von Gefäßen für diese Anlagenart. Dies wurde um so mehr erforderlich, da sich mit den bereits standardisierten EGS-Gefäßen (Pulten) die Schaffung von Sitzarbeitsplätzen mit der einzusetzenden Gerätetechnik wie Mikrorechner, Bildschirmeinheiten, Anwahltastaturen, nicht realisieren läßt. Die neue in TGL 32991/11 [12] in das System eingeordnete und im Kombinatsstandard KAAB-S2 ausgeführte Pultkonzeption für audatec-Gefäße 3. Ordnung basiert auf konstruktiv technologischen Vorleistungen und arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen unter Berücksichtigung der ergonomischen Forderungen an die Gestaltung von Sitzarbeitsplätzen. Es wurden für audatec-Gefäße (Sitzpult, Pultsegment und Beistellschrank) Aussagen getroffen über Hauptabmessungen, Aufbau, die wesentlichsten Qualitäts- und Gestaltungsmerkmale sowie der Bezeichnung des Systems.

Literatur

[1] *Kloust, H.:* Automatisierungsanlagen – Standards und Kenngrößen – Reihe Automatisierungstechnik. Band 213 Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[2] *Kloust, H.:* Abstimmung neuer Vorschriften zu den automatisierten Systemen zur Steuerung technologischer Prozesse (ASU TP) mit der UdSSR. msr. Berlin 39 (1985) 5, S. 217–219

[3] TGL 34219 Automatisierungsanlagen; Zentrale Prozeßführung gebäudetechnischer Anlagen. Ausg. Mai 1979

[4] TGL 34219 Mikrorechnergesteuerte Automatisierungsanlagen für gebäudetechnische Prozesse. Ausg. März 1985

[5] TGL 32991 Automatisierungsanlagen. Ausg. Juni 1976 bis Juni 1985

[6] TGL 30108 Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; Betätigungs- und Anzeigeelemente. Ausg. Mai 1984

[7] TGL 30108/02 Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; Kennzeichnung. Ausg. Mai 1984

[8] TGL 13097 Elektrotechnik; Taster und Leuchtmelder; Funktionsbezogene Farbkennzeichnung. Ausg. April 1985

[9] TGL 12468 Anfahr- und Signalordnung für Anlagen zentralgesteuerter technologischer Prozesse. Ausg. Juli 1979

[10] IEC-Publikation 73 Farben für Anzeigeleuchten und Drucktaster. 2. Ausg. 1975

[11] TGL 32991/02 Automatisierungsanlagen; Termini und Definitionen. Ausg. Juni 1985

[12] TGL 32991/11 Automatisierungsanlagen; Einsatz von Gefäßen. Ausg. Januar 1985

[13] TGL 14091 ESKD; Symbole der MSR-Technik. Ausg. April 1981

H. Kloust[1]), Berlin

EA 2088

[1]) Ing. Ing. *Heinz Kloust* ist Koordinierungsbeauftragter für Standardisierungsaufgaben der Automatisierungstechnik im ZFT des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau, Berlin.

FACHTAGUNGEN

Elektromagnetische Verträglichkeit in der Automatisierungstechnik

273. Elektrotechnisches Kolloquium der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden am 16. 10. 1985

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. *E. Habiger* (Vorgetragen durch Dr.-Ing. *V. Hammer*)

Unbeabsichtigter Stillstand von Produktionsanlagen ist in zunehmendem Maße auf elektromagnetische Unverträglichkeit von Automatisierungsmitteln zurückzuführen.

Die Ursachen dafür liegen

- in einer steigenden elektromagnetischen Aggressivität der technischen Umwelt
- in einem sinkenden Energieniveau bei den elektronischen Einrichtungen
- in der Dezentralisierung der Informationsverarbeitung, die gleichbedeutend ist mit einer engeren Vernetzung leistungselektrischer und informationselektronischer Einrichtungen.

Den Betrachtungen wurde im Vortrag zunächst das Black-Box-Modell eines Automatisierungsgerätes zu Grunde gelegt, wobei das Gerät an einem bestimmten Einsatzort unter bestimmten Einsatzbedingungen eine beabsichtigte Funktion zu realisieren hat. Dabei treten bestimmte meteorologisch-klimatische und prozeßbedingt-technische aber auch elektromagnetische Einsatzbeanspruchungen und zusätzlich zu den gewünschten funktionsbedingten Ausgangsgrößen thermische, mechanische, akustische aber auch elektromagnetische Nebenwirkungen auf. Die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) wird also als Teilgebiet der Umweltverträglichkeit aufgefaßt.

Ausführlich wurde eine Klassifizierung der Störquellen vorgenommen und ihnen charakteristische Störgrößen und -verläufe zugeordnet. Aussagen über Stör- und Zerstörfestigkeit von Störsenken sowie über die möglichen Koppelmechanismen zwischen Störquelle und -senke folgten.

Die mathematische Beschreibung der Störgrößen erfolgte zur besseren Darstellung wichtiger Parameter mittels Amplitudenspektrum (periodische Störgrößen) bzw. Amplitudendichtespektrum (nichtperiodische Störgrößen).

Stand vor dem Ingenieur, der sich in der Vergangenheit mit Problemen der EMV zu beschäftigen hatte, die Aufgabe, ein konkretes Objekt zu entstören (Nachbesserung), so muß heute erreicht werden, daß die EMV-Arbeit durchgängiger Bestandteil bei der Erzeugnisentwicklung bzw. bei der Anlagenprojektierung wird.

Dies setzt in den betreffenden Betrieben ein Minimum an geeigneten Meßmitteln und an Prüfgerätetechnik voraus. Die Einrichtung von komfortablen Prüflabors sollte aus Kostengründen durch mehrere Betriebe gemeinsam erfolgen.

Im abschließenden Teil wurde durch Herrn Dipl.-Ing. *Hilpmann*, TU Dresden, zum Problemkreis „Prüfung der Störfestigkeit von Automatisierungsmitteln" Stellung genommen.

Es wurde die z.Z. an der Sektion verfügbare Prüfgerätetechnik vorgestellt, Aussagen zu realisierten Prüfprogrammen gemacht und Prüfergebnisse konkreter Erzeugnisse vorgestellt.

Wesentliche Punkte der sich anschließenden Diskussion waren

- die Forderung nach einer durchgängigen Standardisierung der Prüfungsanforderungen an Automatisierungsgeräte, in Übereinstimmung mit dem existierenden internationalen Standardwerk
- die Forderung nach Einbeziehung der EMV-Arbeit in die Erzeugnisentwicklung beginnend mit der Arbeitsstufe K1.

V. Hammer, Dresden EA 2098

Die Regelung eines Stromrichtermotors

275. Elektrotechnisches Kolloquium der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden am 30. 10. 1985

Referent: Dozent Dr. *T. Kaczmarek*, TH Poznan (VR Polen)

Der Stromrichtermotor wird auf Grund seines guten Wirkungsgrades und der geringen Anforderungen an die Qualitätsparameter der einzusetzenden Thyristoren international insbesondere für drehzahlsteuerbare Antriebe großer Leistung eingesetzt.

In der VR Polen wurden bisher ein Wasserpumpenantrieb ($P = 1{,}2$ MW) und zwei Lüfterantriebe ($P = 800$ kW) in Betrieb genommen. Nach Darstellung des Wirkprinzips sprach der Referent ausführlich über die Steuerung des maschinenseitigen Stromrichters.

Um die natürliche Kommutierung zu sichern, ist eine Kommutierungswinkelreserve von $\varepsilon = 2 \cdots 10°$ notwendig, die drehzahlabhängig ist.

Besser wird nach Darstellung des Referenten die Kommutierungs-Stromreserve eingeführt, definiert als Abstand von dem Strom, bei dem die Wechselrichtertrittgrenze erreicht wird.

Anstelle der bekannten Taktung des Wechselrichters durch einen Polradlagegeber wird vom Referenten die Taktung durch die Ständerspannung des Synchronmotors vorgeschlagen, bei der die Kommutierungswinkelreserve weniger von der Belastung abhängig ist.

Es wurden Regelstrukturen diskutiert, die von einer Kompensation des nichtlinearen Verhaltens des Stromrichters ausgehen und dadurch mit fest eingestellten Reglern der überlagerten Schleifen auskommen.

Abschließend erläuterte der Referent umfangreiche Simulationsergebnisse.

R. Schönfeld, Dresden EA 2099

Drehstromantriebe

118. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der TH Karl-Marx-Stadt am 27. 06. 85

Im ersten Vortrag schilderte Prof. Dr. sc. techn. *Budig* den Stand der Technik und die Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Drehstromantriebe. Der rapide Anstieg der Elektroenergiekosten bei Antrieben auf das 3,5fache in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren zwingt geradezu, die Verlustleistung

zu senken, wobei eine Reduzierung um 10% eine Masseerhöhung von etwa 6% zur Folge haben würde. Jedoch widerspricht dieser Weg den Grundsätzen einer zweckmäßigen Materialökonomie, so daß als Alternative hierzu der Einsatz neuer Werkstoffe geboten erscheint. Am Beispiel eines Pumpenantriebes wurde in Gegenüberstellung von Drosselung und Drehzahlregelung sehr anschaulich der Leistungsaufwand als Funktion der Pumpenleistung dargestellt. Hieraus läßt sich folgern, daß bei stromrichtergespeisten Antrieben Energieeinsparungen von 11 bis 40, teilweise sogar bis 55% möglich sind. Als Forderung resultiert daraus, daß dringend Stromrichter benötigt werden, die eine Frequenzstellung ermöglichen.

Zunächst legte Prof. *Budig* Einzelheiten zum Zwischenkreiswechselrichter für Frequenz-Spannungs-Stellung (f-U-Stellung) dar und stellte am Beispiel eines Wechselrichterbrückenzweiges für verschiedene Thyristoren (SCR, ASCR, RCT, GTO) die Faktoren Geräusche, Verluste und Kommutierungsaufwand qualitativ gegenüber. Die Strom-Spannungs-Belastbarkeit für Frequenzthyristoren, rückwärts leitende Thyristoren und LE-MOSFET zeigte die möglichen Einsatzbereiche auf. Als weitere Problematik kam, ausgehend von den beiden Komponenten des Drehmoments — zeitinvariante und zeitabhängige Momente (sogenannte Pendelmomente) —, die Frage der Oberwellenamplituden bei rechteckförmigem Stromverlauf und damit der Oberwellenverluste in Abhängigkeit von der Ordnungszahl zur Sprache.

Sinusförmige Stromverläufe wären realisierbar, wenn mit genügend hohen Pulsfrequenzen gearbeitet werden könnte. Jedoch sind Schaltfrequenzen in der Größenordnung 1,5 bis 6 kHz nur mit Transistoren erreichbar, wobei die Schwankungsbreite der Sinuswellen im Bereich von 10% liegt. Eine wesentliche Rolle spielen weiterhin die

- Stromverdrängungsfaktoren (abhängig von der Frequenz bei Variation der Leiterhöhe im Nutschlitz),
- Motorverluste
  a) in Abhängigkeit vom Drehmoment bei konstanter Drehzahl sowie
  b) in Abhängigkeit von der Grundwellenfrequenz bei konstantem Drehmoment.

Schließlich gab der Referent Untersuchungsergebnisse der Momentenabgabe (zulässiges Moment/Nennmoment) in Abhängigkeit der Drehzahl bei einer umrichtergespeisten Asynchronmaschine an, wobei festgestellt worden ist, daß bei getaktetem Betrieb die Erwärmung niedriger, aber die zulässigen Drehmomente höher lagen als bei gepulstem Betrieb. Da die Verlustleistung eine Funktion der Grundwellenfrequenz ist, muß die Wärmebilanz sowohl bei getaktetem als auch bei gepulstem Betrieb in Abhängigkeit vom Pulsmuster überprüft werden.

Es ist tendenziell zu erkennen, daß gegenwärtig der Spannungswechselrichter häufiger dem Stromwechselrichter vorgezogen wird. Bereits bei 8 bit Wortbreite der Informationsverarbeitung sind Pulsmustergenauigkeiten von 0,5° erreichbar. Nach den bisherigen Erkenntnissen ist auf jeden Fall eine Frequenz-Spannungs-Stellung erforderlich. Die Oberwellendrehmomente können durch Drehschwingungen zu Resonanzen führen. Nichtsinusförmige Ströme bringen zusätzliche Verluste, deren Größe durch spezielle Läuferformen gemindert werden kann.

Im zweiten Vortrag von Dipl.-Ing. *Götze* und Prof. Dr. sc. techn. *Kronberg* zum Thema „Drehstromantriebe mit Asynchronmotoren für hohe Forderungen an das dynamische Verhalten und weitem Drehzahl-Stellbereich" wurde zunächst festgestellt, daß der Nachteil bei Regelungsaufgaben, nämlich die kommutierungsbedingte Drehzahlbegrenzung bei Drehstromasynchronmotoren wegfällt. Dementsprechend ist der Aufwand geringer als bei Gleichstrommaschinen, die gegenwärtig den Stand der Technik im Werkzeugmaschinenbau repräsentieren. Folgende Forderungen an Drehstromasynchronmotoren-Antriebe müssen deshalb erhoben werden:

- Für die Dauer von 0,2 s 2,5- bis 4faches Dauerdrehmoment
- Stellverhältnis 1:10000 bei zulässiger Schwankung von 25% (bei 0,3 U/min Drehzahlschwankung kleiner 0,1 U/min).

Aus der Sicht der Regelungstechnik stehen die Forderungen:

- In jedem Arbeitspunkt ist eine Stellung erforderlich.
- In möglichst geringer Zeit muß das Drehmoment verzögerungsarm stellbar sein.
- Grenzfrequenz 40 Hz
- Anregelzeit der Drehzahl 4 ms.

Schließlich steht noch die generelle Forderung, daß die Kompatibilität mit vorhandenen Steuerungen gegeben sein muß. Dipl.-Ing. *Götze* erläuterte anhand von Blockschaltbildern das Prinzip des Drehstromstellenantriebes. Dabei gelangte er zu der Schlußfolgerung, daß die Steuerung der Maschinen möglichst so erfolgen muß, daß der Läuferfluß konstant bleibt, wodurch eine wesentliche Vereinfachung der Steuergleichungen des Systems gegeben ist.

Bei den Untersuchungen wurde so vorgegangen, daß sowohl Drehzahl- als auch Strom-Regler analog geblieben sind und nur die Entkopplung rechentechnisch (digital) erfolgte. Ein Test mit digitalem Drehzahlregler verlief auch positiv, jedoch wären bei einem Stromregler Abtastzeiten von 200 bis 300 µs erforderlich, wofür gegenwärtig ein Drehzahlgeber mit 100000 Teilen im Stellbereich 1:10000 nicht vorhanden ist. In den Ausführungen zur Wahl der Pulsfrequenz des Wechselrichters verwies der Referent auf die Bedeutung elektromagnetischer Störungen und Pulsverluste sowie die Spannungsanstiegszeiten von 500 V/µs, so daß schließlich nur die „höchstnötige" Pulsfrequenz angewendet werden sollte.

Als optimale Lösung wird der Ständerstromregler mit drei Zweipunktreglern angesehen, da hierbei mit maximalem Gradienten nachgeführt werden kann. Nachteile sind allerdings:

1. Oberwellen — sie bestimmen die Verluste.
2. Die Regler arbeiten unabhängig voneinander — es treten Schwebungen auf.
3. Alle Stromkreise schließen sich über Zwischenkreiskondensator — Effektivwert der Spannung liegt relativ hoch, d.h., es treten hohe Wirbelstromverluste auch im Stillstand auf sowie hohe Eisenverluste.

Es schlossen sich weiterhin Aussagen zu den Untersuchungen der Ständerstromregelung mit 2 PI-Reglern und die Einspeisung über drei Deltamodulatoren an. Die Einstellung erfolgt nach minimalem Geräuschpegel. Alle Achsen können mit der gleichen Pulsfrequenz gespeist werden, und die Oberwelligkeit ist wesentlich besser als bei drei Zweipunktreglern.

Eine Pulsbreitenmodulation hat den entscheidenden Nachteil, daß Zwischenkreisspannungen auftreten während der Sicherheitszeiten der Transistoren. Im statischen Fall läßt sich eine Totzone exakt nachweisen, weshalb ein PI-Regler eingesetzt werden muß, obwohl prinzipiell ein P-Regler zur Ausregelung der Nichtlinearität genügen würde. Die weiterhin vorgestellten Meßergebnisse, wie z.B. Führungsverhalten (Ausregelung in 250 µs) und Störverhalten des Stromregelkreises (Ausregelung in 600 µs) zeigen, daß die genannten Werte bis zu Frequenzen von 50 bis 60 Hz ausreichend sind. Neben Stromverläufen während des Reversiervorganges wurde auch der Drehzahlverlauf bei 0,25 U/min und 1 U/min unter Änderung des Lastmomentes von 0 bis 3,2 Nm und zurück bis 0 aufgenommen sowie Ergebnisse von Erwärmungsuntersuchungen $M_d = f(n)$ bei Betrieb der Motoren ohne Lüfter vorgelegt.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2086

Technische Probleme des funkelektronischen Kampfes

119. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der TH Karl-Marx-Stadt am 26. 09. 85

Bei der Begrüßung des Referenten Oberstleutnant Dr.-Ing. *Kiewel* von der Offiziershochschule Löbau stellte der Vorsitzende der KDT-Sektionsgruppe Elektroingenieurwesen, Prof. Dr. sc. techn. *Fritzsch*, heraus, daß es unser aller Wunsch ist, die technisch hochinteressante Problematik der Funkelektronik künftig nicht für kriegerische Zwecke anwenden zu müssen.

Nach heutigen Erkenntnissen ist der Ausgang kriegerischer Auseinandersetzungen entscheidend bestimmt durch das Verhältnis von Luftangriffsmitteln zu den Luftabwehrmitteln. Nach den Massenvernichtungswaffen dürfte daher der funkelektronische Kampf das wichtigste Entscheidungskriterium bei Kriegen sein.

Die aus dieser Erkenntnis heraus von den USA konzipierten Entwicklungsprogramme für Mittel des funkelektronischen Kampfes würden etwa das Zehnfache des Nationaleinkommens kosten. Das zeigt deutlich die Bedeutung des funkelektronischen Kampfes.

Ausgehend von der Definition der Begriffe und Darlegung der Elemente des funkelektronischen Kampfes wurden die Ziele erläutert und auf daraus abgeleitete taktische, organisatorische und technische Maßnahmen näher eingegangen.

Dabei konzentrierte sich der Referent hauptsächlich auf Probleme des funkelektronischen Schutzes, der sowohl die größte Bedeutung für die Mittel der Luftabwehr besitzt als auch die technisch interessantesten Lösungen bietet.

Die detaillierte Gliederung von Funkmeßstörungen und die Möglichkeiten des Schutzes vor Störungen verschiedener Ar-

ten führten speziell über die technischen Maßnahmen zu den vorgestellten Lösungsschritten.
Abschließend erläuterte der Referent die Entwicklungstendenzen und ging in der regen Diskussion unter anderem auf die durch mikroelektronische Bauelemente vorgezeichneten Möglichkeiten des funkelektronischen Kampfes ein.
Folgerichtig führte die Diskussion zum Protest gegen das SDI-Programm, also die Sternenkriegspläne des Pentagon.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2096

BUCHER

Hochspannungs- und Hochleistungskabel

Von *Kiwit/Wanser/Laarmann:* Frankfurt/Main: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H. (VWEW), 1985, 216 Seiten, 64 Bilder, 6 Tafeln

Das vorliegende Buch entstand auf der Basis von Referaten zu den zweimal jährlich an der Universität Hannover stattfindenden Kabelseminaren und behandelt umfassend alle im Zusammenhang mit dem Einsatz von Hochspannungskabeln ab 110 kV zu beachtenden Probleme sowohl für derzeitige als auch künftige Kabelkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Hochleistungsübertragung.
Nach einer Einleitung zur geschichtlichen Entwicklung der Übertragungsspannungen und der Starkstromkabel einschließlich eines Vergleiches der charakteristischen Eigenschaften von Kabeln und Freileitungen wird zunächst die Physik der Hochspannungskabel für Wechselspannung insoweit behandelt, wie es für das Verständnis der nachfolgenden Kapitel über Bauarten, Prüfung und Ausführung von Kabelanlagen erforderlich ist. So wird auf die elektrische Beanspruchung der Isolierung einschließlich der Teilentladungsprobleme, der dielektrischen Verluste und der Lebensdauerkennlinien, die stromabhängigen Verluste und die Belastbarkeit sowohl natürlicher — als auch zwangsgekühlter Kabel eingegangen.
Schwerpunkt des Buches ist die Behandlung der Bauarten von Hochspannungskabeln. Neben den konventionellen Drehstromkabeln mit natürlicher Kühlung (Öl-, Gasdruck- und Kunststoffkabel) werden als Hochleistungskabel vor allem konventionelle Kabel mit Zwangskühlung, gasisolierte Rohrleiter und Kabel sowie Tieftemperaturkabel ausführlich behandelt, während auf Hochspannungsgleichstromkabel bei HGÜ-Seekabelverbindungen der Vollständigkeit halber mit eingegangen wird.
Für die Prüfung von Kabeln werden nur kurze Hinweise gegeben, zumal international noch keine einheitlichen Standards für **Hochspannungs**kabel existieren. Im Kapitel Ausführung von Kabelanlagen werden die technischen Grundlagen für die Bemessung von Kabelanlagen, Probleme der elektrischen Beeinflussung und des Korrosionsschutzes behandelt. Abschließend wird noch die Wirtschaftlichkeit von Kabelanlagen bewertet und ein Ausblick auf den Entwicklungstrend gegeben. Der an speziellen Problemen noch weiter interessierte Leser wird auf 182 Literaturstellen, meist neueren Datums und internationale Publikationen hingewiesen.
Das Buch zeichnet sich durch eine vorzügliche Gestaltung aus, wozu übersichtliche graphische Darstellungen und Farbbilder von Stufenmustern ausgeführter Kabel wesentlich beitragen. Sowohl dem Kabelingenieur der Energieversorgung als auch dem Studenten wird der derzeitige Wissensstand auf den Gebiet der Hochspannungs- und Hochleistungskabel umfassend und übersichtlich dargeboten.

H. Pundt, Dresden EA 2069

Integrierte Mikrowellenschaltungen

Elektrische Grundlagen — Dimensionierung — Technische Ausführung — Technologien

Von *R. K. Hoffmann*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1983. 486 Seiten, 176 Bilder 28 Tafeln, 1256 Literaturangaben. Leinwandstruktur

Die Mikrowellentechnik ist die Schaltungstechnik bei höheren Frequenzen, etwa ab 300 MHz. Sie ist im wesentlichen durch die Verwendung von Wellenleiterelementen für den Schaltungsaufbau gekennzeichnet. Die klassischen Vertreter der Wellenleiter, Koaxial- und Hohlleiter, wurden im Verlaufe der Entwicklung durch planare Leitungsstrukturen auf dielektrischen Trägerschichten, den sogenannten Streifenleitern, ergänzt, mit denen sich viele vorteilhafte Möglichkeiten für einen Schaltungsaufbau ergeben.
Die infolge der vielfältigen Integrationsmöglichkeiten erreichbaren Schaltungsparameter in elektrischer und mechanischer Hinsicht, verbunden mit den Möglichkeiten moderner Fertigungsmethoden, haben dem traditionellen Anwendungsbereich Richtfunk- sowie Radartechnik einen großen Auftrieb gegeben. Weiterhin ermöglichten sie es, in Verbindung mit den neuartigen Mikrowellenhalbleitern, eine Reihe weiterer interessanter Anwendungsbereiche zu erschließen.
Die Streifenleitertechnik auf dielektrischer Kunststoffschicht und die auf Keramiksubstrat (Mikrostreifenleitung) hat die größte Verbreitung gefunden. Daneben existieren weitere planare Leitungsstrukturen, wie die Koplanarleitung und die Schlitzleitung. Mit diesen kann u.a. die Streifenleitung im Einzelfall sehr vorteilhaft ergänzt werden.
Der Verfasser hat das Ingenieurwissen, das für die Entwicklung und Herstellung reziproker passiver integrierter Mikrowellenschaltungen notwendig ist, zusammengestellt, zweckmäßig gegliedert und praxisgerecht aufbereitet.
Das Buch enthält Dimensionierungshinweise, Formeln, Kurven, Tabellen und Ausführungsbeispiele für den auf dem Gebiet der Mikrostreifenleitungen tätigen Entwicklungsingenieur. Das beginnt mit den Erläuterungen zur Substratauswahl, zu den Herstellungstechnologien, zum Gehäuseeinbau und zur Gestaltung der Anschlüsse. Relativ breiter Raum ist der Betrachtung der spezifischen Gegebenheiten der Wellenausbreitung auf Streifenleitungen mit isotropem oder anisotropem Substrat und den sich daraus ergebenden Leitungsparametern Wellenwiderstand, effektive Dielektrizitätskonstante und Leitungsdämpfung gewidmet. Die bisher bekannt gewordenen Näherungslösungen werden analysiert und die möglichen Fehler abgeschätzt. Verschiedene Verfahren zur meßtechnischen Ermittlung der Leitungsparameter werden beschrieben.
Sehr eingehend wird das Verhalten gekoppelter (parallel geführter) Streifenleitungen und das von Diskontinuitäten (Leerlauf, Kurzschluß, Querschnittssprung, Leitungsknick) betrachtet. In weiteren Kapiteln werden die Eigenschaften von Varianten der Streifenleitungen und der anderen Flachstrukturleitungen dargestellt sowie das Abstrahlverhalten und das Auftreten parasitärer Wellen untersucht.
Ein sehr umfangreiches Quellenverzeichnis von deutsch- und englischsprachigen Literaturstellen bis 1982 ist angefügt.

G. Mickan, Berlin EA 2076

Differential- und Integralrechnung

Von *G. Garus; P. Westerheide.* München/Wien: Carl Hanser Verlag, 1985. 250 Seiten, 81 Bilder, 72 Beispiele. Kartoniert.

Das Buch ist im Rahmen der Studienbücher der Wirtschaft erschienen und dient insbesondere dazu, Ökonomen mit den Problemen der Differential- und Integralrechnung vertraut zu machen. Zuerst erfolgt in einem einleitenden Kapitel die Darstellung des Rechnens mit realen Zahlen, die Lösung quadratischer Gleichungen, es werden die Reihen behandelt. Lineare Funktionen, Exponential- und Logarithmusfunktionen sowie weitere Funktionstypen werden dargestellt. Es folgt die Behandlung der Differentialrechnung, wobei insbesondere auf den Begriff des Differentialquotienten eingegangen wird und die Ableitungen behandelt werden. Alle sich daraus ergebenden Folgerungen zur Bestimmung von Extremwerten und Wendepunkten sind dargelegt.
Im zweiten Abschnitt „Differentialrechnung 2" erfolgt die Behandlung mit Funktionen mehrerer Veränderlicher. Die partiellen Differenzen und Differentialquotienten werden behandelt, und es werden auch hier wieder Extremwerte und Sattelpunkte untersucht. Im dritten Kapitel „Differentialrechnung 3" erfolgen schließlich die Darlegung der Methoden der Variablensubstitutionen, der Lagrange-Multiplikatoren sowie die Darlegung hinreichender Kriterien für die Bestimmung von Extremwerten.
Der nächste Abschnitt ist der Integralrechnung gewidmet, und schließlich wird in einem Anhang die ökonomische Anwendung von Differentialgleichungen dargestellt. Es folgen Aufgaben und dann die Lösung der Aufgaben und der Kontrollfragen. Das Buch schließt mit einem Stichwort- und einem Literaturverzeichnis. Jedem Abschnitt sind Anwendungsbeispiele aus dem Bereich der Ökonomie beigefügt.
Die Behandlung des Stoffes ist übersichtlich. Durch Abbildungen ist der Stoff gut untermauert, so daß ein Handwerkszeug zur Einarbeitung in das Gebiet gegeben ist. In jedem Abschnitt werden Beispiele aus dem Bereich der Ökonomie behandelt. Dadurch wird dem Anwender auf diesem Gebiet bzw. in diesem Bereich die Theorie verständlicher gemacht und auch näher gebracht. Der Druck des Textes und der Formeln sowie auch der grafischen Darstellungen ist gut gelungen. Auf diese Weise wurde es möglich, auch eine didaktisch wirksame Darstellung des Stoffes vom Schriftbild und den Abbildungen her zugewährleisten.

P.-K. Budig, Karl-Marx-Stadt EA 2097

Документация

Амлонг, У. Й.; Фишер, М.; Хеллер, Й.: **NS 400 — новый ряд ультрафиолетовых излучателей из комбината н. п. НАРВА им. Розы Люксембург**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 1, стр. 5—8, 13 рис., 3 табл., 5 уравн., 1 лит.

Представляется новый ассортимент излучателей с потребляемой мощностью 400 Вт. Дается описание параметров излучения и рабочей характеристики. Обсуждаются области возможного применения их в диапазонах УФ-В и УФ-А, а также в коротковолновом видимом спектральном диапазоне. Обращается внимание на необходимость соблюдения мер по технике бехопасности при пользовании ими.

Коволлик, Г.; Мёринг, Д.: **Условия эксплуатации и свойства излучения ламп с полым катодом НАРВА**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 1, стр. 8—9, 4 рис., 2 табл., 3 лит.

Комбинат НАРВА, начиная с 1984 г. выпускает 23-элементные лампы с полым катодом, улучшенные по качеству и приспособленные к режиму работы AAS3. Рассматриваются геометрические размеры, основные условия эксплуатации и свойства излучения. Дополнительные данные приведены в ТГЛ 38041 „Лампы с полым катодом". Намечено поэтапное расширение палитры типов этих ламп.

Кёттнитц, Х.; Науманн, В.: **Задачи и принципы координации изоляции в низковольтных установках**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 1, стр. 9—13, 6 рис., 3 табл., 4 уравн., 24 лит.

Целью координации изоляции является обеспечение высокой надежности и безопасности электрооборудования и установок, насколько она подлежит влиянию со стороны изоляции. Излагаются принципы координации изоляции, которые всего лишь недавно были внедрены и в низковольтном диапазоне, показываются аналогии с высоковольтной техникой.
В качестве составной части координации изоляции поясняются задачи ограничения перенапряжения и доказательство изоляционной способности путем испытаний с представительными характеристиками напряжения. Намечается дальнейшее развитие методов координации изоляции.

Эрмиш, Й.; Хертвиг, Н.: **Раздельный по потенциалам учет измерительных значений электрической силы тока в широком диапазоне частот**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 1, стр. 14—16, 6 рис., 11 лит.

Представляются возможности и методы раздельного по потенциалам учета постоянных и пульсирующих токов, сопоставляются их преимущества и недостатки. Представляются свойства „широкополосного трансформатора тока", выпускаемого народным предприятием Трансофрматорен унд Рентгенверк им. Германа Матерна г. Дрездена.

Лаппат, А.: **Регулировка состояния электрического привода с упругой слабо заглушенной механикой**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 1, стр. 25—28, 6 рис., 1 табл., 20 уравн., 9 лит.

Электрическими приводами с упругой механикой трудно владеть при помощи традиционных регуляторов. В статье представляется проект регулятора состояния для упругой двухкорпусной системы. Даются указания по установке регулятора состояния в зависимости от нескомпенсируемой постоянной времени и по параметрической чувствительности. Во всех рассуждениях, механика рассматривается как линейная и неизменяющаяся по времени.

Власссов, К. П.; Тисенко, В. Н.; Самардина, В. Н.: **Асинхронный многодвигательный привод с улучшенными динамическими свойствами для подъемных механизмов**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 1, стр. 28—30, 3 рис., 3 уравн., 2 лит.

Экспериментальные исследования и теоретические расчеты показывают, что электрический привод с электрической связью приводных двигателей имеет хорошие динамические свойства. Динамические направляющие усилия и нагрузки в трансмиссионных валах ходового механизма значительно уменьшаются. Эот приводит к снижению износа подвижных деталей крана.

Будиг, П.-К.: **Влияние вытеснения тока в асинхронных короткозамкнутых электродвигателях на нагрев и допускаемый вращающий момент**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 1, стр. 30—31, 1 табл., 3 уравн., 5 лит.

Асинхронные электродвигатели с питанием от вентильного преобразователя тока подлежат большей термической нагрузке чем в случае питания их от сети. При этом возникает дополнительное нагревание так, что необходимо найти новое соответствие между вращающим моментом и числом оборотов. Для обозначения отклонений токов и напряжений от синусоидальной формы предлагается применение понятия „пульсация".

Кункель, К.-Х.; Бунцель, Э.; Мюнх, У.; Освальд, Б.; Паулиг, Э.; Шуберт, П.: **Простые программы на языке БЕЙСИК для выбранных статистических методов проверки**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 1, стр. 32—34, 8 рис., 15 уравн., 5 лит.

После краткого введения в основную стратегию решения статистических проблем представляются нижеуказанные программы расчета, к которым даются по одному конкретному примеру расчета:

- двухсторонный доверительный интервал среднего значения
- t-критерий для проверки среднего значения
- двойной t-критерий для сравнения двух средних значений
- проверка независимости двух случайных величин.

Documentation

Amlong, U. J.; Fischer, M.; Heller, J.: **NS 400 — A New Series of U. V. Radiators of the Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, pp. 5—8, 13 Figs., 3 Tables, 5 Equations, 1 Ref.

A new radiator series with 400 W power input is represented. The technical parameters, related to the radiation, and the operating behaviour are described. Possible application areas for radiation uses in the U.V.-B and the U.V.-A as well as in the short-waved visible spectral range are discussed. To the measures, related to the safety techniques in use, is hinted.

Kowollik, G.; Möhring, D.: **Operating Conditions and Radiation Properties of NARVA-Lamps with Hollow Cathodes**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, pp. 8—9, 4 Figs., 2 Tables, 3 Refs.

Since 1984 the Kombinat NARVA produces lamps with hollow cathodes from 23 elements, which are improved in its quality and are adapted to the operating conditions of the AAS 3. The geometric dimensions, important operating conditions and radiation properties are illustrated. Further data may be seen from the German TGL38041 ,,Lamps with Hollow Cathodes". Expanding step by step the type series of the lamps with hollow cathodes is intended.

Koettnitz, H.; Naumann, W.: **Tasks and Principles of the Insulation Coordination in Low-Voltage Plants**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, pp. 9—13, 6 Figs., 3 Tables, 4 Equations, 24 Refs.

Maintaining high reliability and safety of the electrotechnical operating means and plants is the object of the insulation coordination (IK), so far as those may be determined through the insulation. The IK-principles are illustrated, which only in the earlier times have been introduced into the low-voltage area. The analogies to the high-voltage techniques are demonstrated. The tasks of the overvoltage limitation and the detection of the insulating capacity by means of tests with representative voltage curves are illustrated as components of the IK. The further development of the IK-methods is outlined.

Ermisch, J.; Hertwig, N.: **The Potential-Separated Registering of the Electric Current within a Wide Frequency Area**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, pp. 14—16, 6 Figs., 11 Refs.

Possibilities and methods of the potential-separated registering of d.c. and mixed currents are represented and both its advantages and disadvantages are compared. The properties of an ,,all-frequencies inverter" are represented, which is produced from the VEB Transformatoren- und Röntgenwerk of Dresden.

Lappat, A.: **State Regulation of an Electric Drive with Elastic, Weakly Damped Mechanics**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, pp. 25—28, 6 Figs., 1 Table, 20 Equations, 9 Refs.

Electric drives with elastic mechanics may be governed hardly with conventional regulators. In this contribution the design of the state regulator of an elastic two-mass system is represented. To adjusting the state regulator versus the non-compensateable time constant and to the parameter sensitivity hints are given. In all considerations the mechanics was assumed to be linear and time-invariant.

Vlassov, K. P.; Tišenko, W. N.; Šamardina, W. N.: **A Multi-Engine Asynchronous Drive with Improved Dynamic Properties for Hoisting Machines**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, pp. 28—30, 3 Figs., 3 Equations, 2 Refs.

Experimental investigations and theoretical computations show, that an electric drive with electric coupling of the drive motors has good dynamic properties. The dynamic guide forces and the loadings in the transmission shaft of the undercarriage are reduced significantly. This results in a reduced wear of the running elements of the crane.

Budig, P.-K.: **Influence of the Current Displacement in Asynchronous Squirrel-Cage Motors on the Heating and the Reliable Torque**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, pp. 30—31, 1 Table, 3 Equations, 5 Refs.

Inverter feeded asynchronous motors are loaded thermally higher than in network operation. From this additional heatings are resulting, and a new coordination of the torque versus the speed number is necessary. To characterizing the deviations of the currents respectively of the voltages from the sinusoidal form the term of the ,,waviness" is proposed.

Kunckel, K.-H.; Bunzel, E.; Münch, U.; Oswald, B.; Paulig, E.; Schubert, D.: **Simple BASIC-Programmes for Selected Statistical Testing Methods**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, pp. 32—34, 8 Figs., 15 Equations, 5 Refs.

After giving a short introduction to the fundamental solution strategy for statistical problems the following computing programmes are represented, completed on each case by a concrete computing example:

- bilateral confidence interval of a mean-value,
- t-test for testing a mean-value,
- double t-test for comparing two mean-values,
- testing the independence of two random numbers.

Amlong, U.-J.; Fischer, M.; Heller, J.: **NS 400 – eine neue Reihe Ultraviolettstrahler aus dem Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986), S. 5 – 7, 13 Bilder, 3 Tafeln, 5 Gln., 1 Lit.

Es wird ein neues Strahlersortiment mit einer Leistungsaufnahme von 400 W vorgestellt. Die strahlungstechnischen Parameter und das Betriebsverhalten werden beschrieben. Mögliche Einsatzgebiete für Strahlungsanwendungen im UV-B und UV-A sowie im kurzwelligen sichtbaren Spektralbereich werden diskutiert. Auf die Notwendigkeit sicherheitstechnischer Maßnahmen bei der Anwendung wird hingewiesen.

Kowollik, G.; Möhring, D.: **Betriebsbedingungen und Strahlungseigenschaften von NARVA-Hohlkatodenlampen**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, S. 8 – 9, 4 Bilder, 2 Tafeln, 3 Lit.

Das Kombinat NARVA stellt ab 1984 in ihrer Qualität verbesserte und dem Betriebsregime des AAS 3 angepaßte Hohlkatodenlampen von 23 Elementen her. Die geometrischen Abmessungen, wichtige Betriebsbedingungen und Strahlungseigenschaften wurden dargestellt. Weitere Daten können der TGL 38041 „Hohlkatodenlampen" entnommen werden. Es ist beabsichtigt, die Typenpalette der HKL schrittweise zu erweitern.

Koettnitz, H.; Naumann, W.: **Aufgaben und Prinzip der Isolationskoordination in Niederspannungsanlagen**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, S. 9 – 13, 6 Bilder, 3 Tafeln, 4 Gln., 24 Lit.

Zweck der Isolationskoordination (IK) ist die Gewährleistung einer hohen Zuverlässigkeit und Sicherheit der elektrotechnischen Betriebsmittel und Anlagen, soweit diese von der Isolation bestimmt werden kann. Es werden die erst in jüngerer Zeit auch im Niederspannungsbereich eingeführten IK-Prinzipien dargelegt und die Analogien zur Hochspannungstechnik gezeigt.
Die Aufgaben der Überspannungsbegrenzung und der Nachweis des Isoliervermögens sowie die Weiterentwicklung der IK-Methoden werden vorgezeichnet.

Ermisch, J.; Hertwig, N.: **Potentialgetrennte Meßwerterfassung der Stromstärke in einem weiten Frequenzbereich**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, S. 14 – 16,6 Bilder, 11 Lit.

Es werden Möglichkeiten und Verfahren zur potentialgetrennten Erfassung von Gleich- und Mischströmen vorgestellt und deren Vor- und Nachteile gegenübergestellt. Die Eigenschaften eines vom VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden produzierten „Allfrequenzstromwandlers" werden vorgestellt.

Lappat, A.: **Zustandsregelung eines elektrischen Antriebes mit elastischer, schwach gedämpfter Mechanik**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, S. 25 – 27, 6 Bilder, 1 Tafel, 20 Gln., 9 Lit.

Elektrische Antriebe mit elastischer Mechanik sind mit konventionellen Reglern schwer zu beherrschen. Im Beitrag wird der Entwurf des Zustandsreglers für ein elastisches Zweimassensystem vorgestellt. Für die Einstellung des Zustandsreglers in Abhängigkeit der nicht kompensierbaren Zeitkonstante und zur Parameterempfindlichkeit werden Hinweise gegeben. Bei allen Betrachtungen wurde die Mechanik als linear und zeitinvariant angenommen.

Vlassov, K. P.; Tišenko, V. N.; Šamardina, V. N.: **Ein Mehrmotorenasynchronantrieb mit verbesserten dynamischen Eigenschaften für Hebezeuge**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, S. 28 – 30, 3 Bilder, 3 Gln., 2 Lit.

Experimentelle Untersuchungen und theoretische Berechnungen zeigen, daß ein elektrischer Antrieb mit elektrischer Kopplung der Antriebsmotoren gute dynamische Eigenschaften besitzt. Die dynamischen Führungskräfte und die Belastungen in den Transmissionswellen des Fahrwerkes werden bedeutend vermindert. Das führt zu einem verringertem Verschleiß der Laufteile des Kranes.

Budig, P.-K.: **Einfluß der Stromverdrängung in Asynchronkurzschlußläufermotoren auf die Erwärmung und das zulässige Drehmoment**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, S. 30 – 31, 1 Tafel, 3 Gln., 5 Lit.

Stromrichtergespeiste Asynchronmotoren werden thermisch höher belastet, als bei Betrieb am Netz. Das hat zusätzliche Erwärmungen zur Folge und erfordert eine neue Zuordnung des Drehmoments in Abhängigkeit von der Drehzahl. Zur Kennzeichnung der Abweichungen der Ströme bzw. Spannungen von der sin-Form wird der Begriff der „Welligkeit" vorgeschlagen.

Kunckel, K.-H.; Bunzel, E.; Münch, U.; Oswald, B.; Paulig, E.; Schubert, P.: **Einfache BASIC-Programme für ausgewählte statistische Prüfverfahren**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 1, S. 32 – 34, 8 Bilder, 15 Gln., 5 Lit.

Nach einer kurzen Einführung zur grundsätzlichen Lösungsstrategie für statistische Probleme werden die folgenden Rechenprogramme und dazu jeweils ein konkretes Rechenbeispiel vorgestellt:

- Zweiseitiges Konfidenzintervall eines Mittelwertes
- t-Test zur Prüfung eines Mittelwertes
- Doppelter t-Test zum Vergleich zweier Mittelwerte
- Prüfung der Unabhängigkeit zweier Zufallsgrößen.

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 011 22 28 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Dipl.-Ing. *Wolfgang Rönspieß*, Redakteur (Telefon: 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, Bereich Borsdorf 7122 Borsdorf
Gestalter	*Eckhardt Natorp* (Telefon: 2870287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 12000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače, Pošta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hà Nôi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29

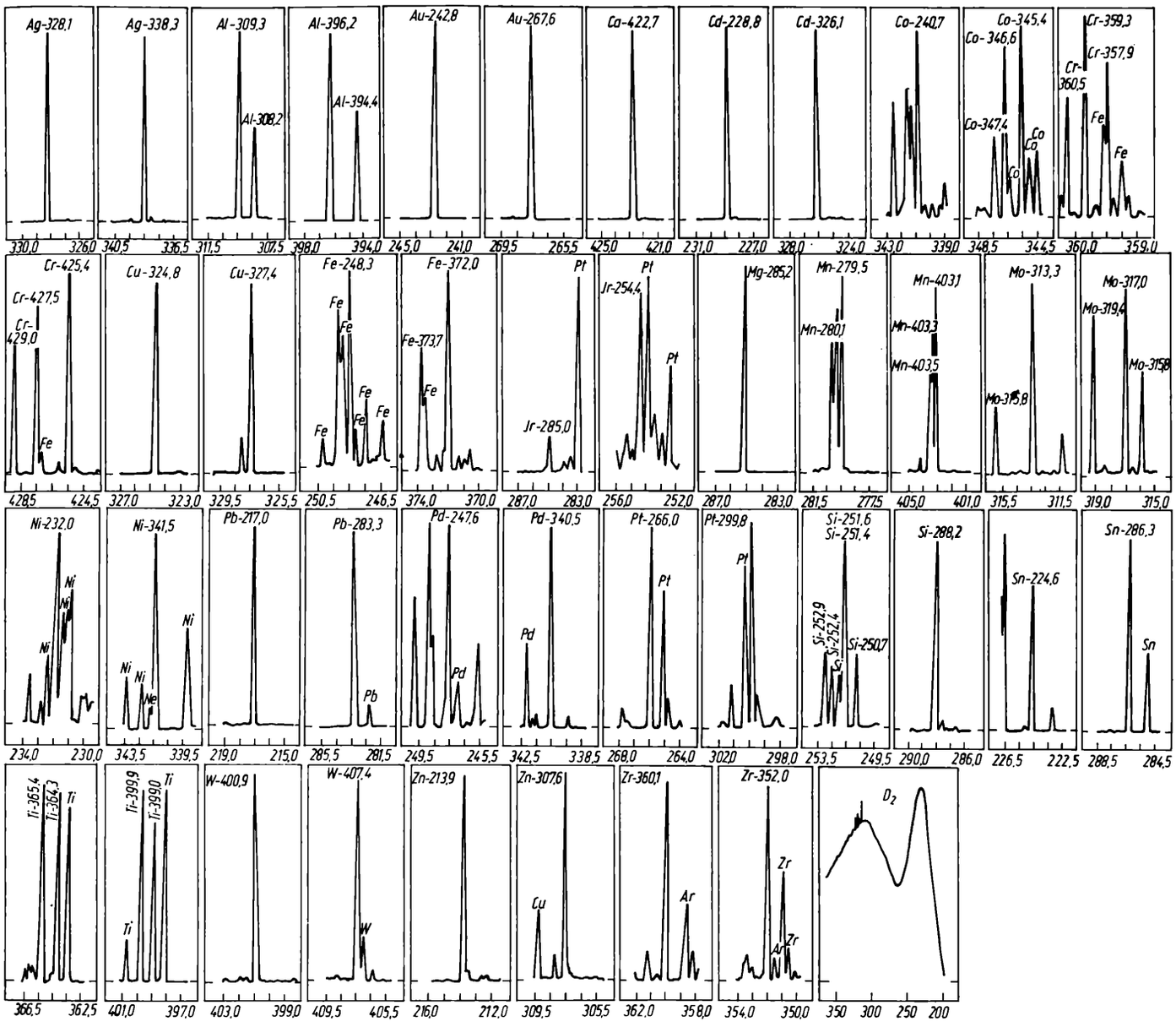


Bild 4. Spektren der Hohlkatodenlampen

Betriebsbedingungen und Strahlungseigenschaften von NARVA-Hohlkatodenlampen

Bilder 1 bis 4 aus dem Beitrag von *Kowollik, G.*; *Möhring, D.* auf den Seiten 8 und 9 dieses Heftes

Bild 1. Gestalt der Lampen mit Rasothermglas-Fenster

Bild 2. Gestalt der Lampen mit einem Fenster aus Kieselglas oder UV-Spezialglas

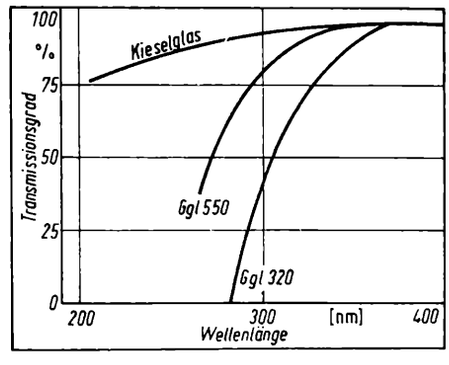
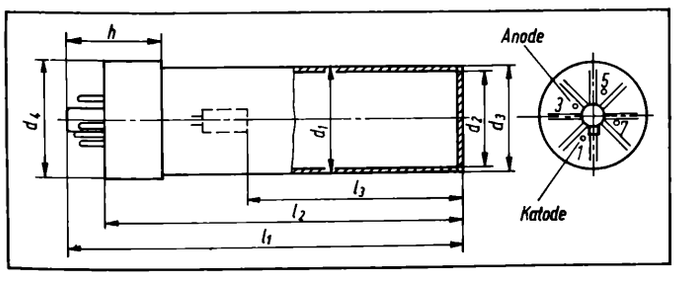
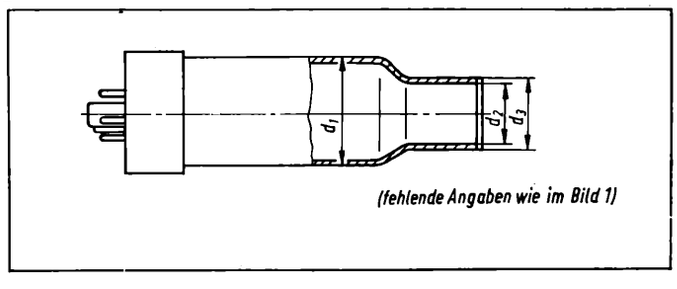


Bild 3
Transmissionsvermögen der in den Hohlkatodenlampen verwendeten Fenstermaterialien

1



2



ISSN 0013–5399
ELEKTRIE · Berlin 40 (1986) 1 · S. 1–40

6730 1 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8012 2001 0136 PF

Neuerscheinungen

Schiffselektrotechnik

Von Prof. Dr. sc. techn. Bernhard Gleß und Prof. Dr. sc. techn. Siegfried Thamm
240 Seiten, 218 Bilder, 29 Tafeln, Pappband, DDR 25,— M, Ausland 36,— DM.
Bestellangaben: 553 4399/Gleß, Schiffselektro

Der Umfang der elektrotechnischen Ausrüstung und die an Bord installierte Leistung haben immer mehr zugenommen. Damit stieg auch der Kompliziertheitsgrad der elektrischen Schiffsanlagen. Sowohl vom Konstrukteur als auch vom Bordelektrotechniker werden deshalb umfassende Kenntnisse über elektrische Maschinen, Antriebe, Leistungselektronik, Beleuchtungstechnik, Verteilungsnetze, Instandhaltung und auch in einem bestimmten Maße über Informationselektronik gefordert.
Das umfassende Buch vermittelt diejenigen Kenntnisse, die für eine Ingenieurtätigkeit auf schiffselektrotechnischem Gebiet unerläßlich sind. Grundkenntnisse über elektrische Maschinen und über Leistungselektronik werden vorausgesetzt.
Das Buch enthält Abschnitte, die vorrangig den Konstrukteur interessieren, und solche, die mehr für den an Bord tätigen Elektroingenieur bestimmt sind. Schließlich werden die Erläuterungen der Betriebsbedingungen für elektrotechnische Ausrüstungen und ihr gemeinsames Wirken mit anderen Anlagen sicherlich den Hersteller interessieren.
Die Autoren gehen gründlich auf energieökonomische Probleme ein und weisen auf die Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieökonomie bei der Auslegung schiffselektrotechnischer Anlagen hin, z. B. Verwendung von Wellengeneratoren und Einsatz der Leistungselektronik. Zahlreiche anschauliche Bilder und instruktive Tabellen erhöhen den Informationsgehalt des klar und eindeutig formulierten Textes.

Hauptabschnitte des Buches:

Einleitung · Klimatische und betriebliche Anforderungen an elektrische Schiffsanlagen und deren Auswirkungen auf die Verfügbarkeit · Elektrische Schiffsanlage · Stromerzeugungsanlage · Elektrische Antriebe · Beleuchtungsanlage · Elektrowärme · Akkumulatoren · Befehls- und Meldeanlagen · Instandhaltung der elektrischen Anlagen · Störungen und ihre Beseitigung · Literaturverzeichnis · Sachwörterverzeichnis.

Grundlagen der elektrischen Meßtechnik

Von Prof. Dr. sc. techn. Werner Richter
308 Seiten, 321 Bilder, 38 Tafeln, Leinen, DDR 19,— M, Ausland 28,— DM.
Bestellangaben: 553 4700/Richter, Meßtechnik

Ausgelöst durch die Entwicklung der Halbleitertechnologie werden der Mikroelektronik ständig neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen, die heute vom rechnergestützten Entwurf über Konstruktion und Fertigungssteuerung bis hin zur rechnergestützten Qualitätssicherung reichen und schließlich in weitgehend bedienarme Produktionsprozesse münden werden. Weil dabei die Signalgewinnung, -übertragung und -nutzung zunehmend rein elektrisch erfolgen, wächst auch die Bedeutung der elektrischen Meßtechnik für alle Anwenderbereiche elektronischer Funktionseinheiten.
Eine Darstellung der Grundlagen der elektrischen Meßtechnik muß daher derartige Tendenzen verstärkt berücksichtigen. Das jetzt erscheinende Buch enthält neben einer gründlichen Beschreibung von Kenngrößen und Kennfunktionen für Meßeinrichtungen sowie der gesamten Fehlerproblematik vor allem die für die moderne elektronische Meßtechnik typischen Funktionseinheiten, Meßgeräte und -systeme bis hin zu Sensoren und mikroprozessorgesteuerten Meßeinrichtungen. Ebenso wird auf die sich daraus ergebenden Änderungen der Meßverfahren und -strategien eingegangen.
Hervorzuheben ist die große Praxisnähe, die durch viele Beispiele wirkungsvoll unterstrichen wird, die sich auf solche Probleme beziehen, mit denen der Meßtechniker fast täglich konfrontiert wird. Diese Beispiele erleichtern den Zugang zum Fachgebiet und ermöglichen die Verwendung des Buches als studienbegleitende Literatur in der Aus- und Weiterbildung.
Studierende technischer Fachrichtungen werden dieses Buch ebenso mit Gewinn durcharbeiten können wie in der Praxis stehende Ingenieure, die sich mit den modernen Grundlagen der elektrischen Meßtechnik und ihrer Nutzung zu befassen haben.

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN